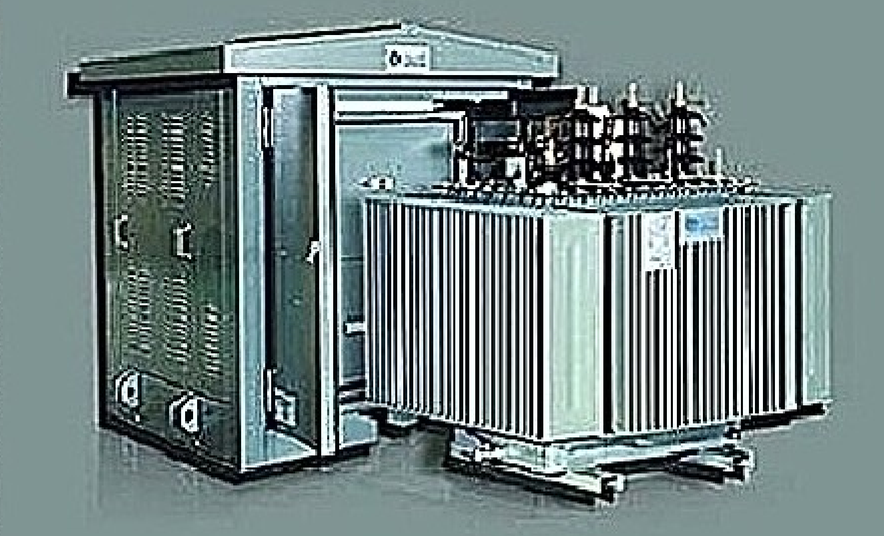
الكتاب
الأول

الموسوعة الكهربائية المبسطة

تركيب وتشغيل وصيانة المحولات الكهربائية



إعداد مهندس

محمود عبد الإله محمد

الكتاب الأول تركيب وتشغيل وصيانة المحولات الكهربائية مهندس محمود عبد الإله محمد

بسطرون للطباعة والنشر والتوزيع

الموسوعة الكهربائية المبسطة

تركيب وتشغيل وصيانة المحول الكهربائي

(الكتاب الأول)

إعداد مهندس

محمود عبداللاه محمد

مؤسسة يسطرون للطباعة والنشر والتوزيع

يسطرون

رئيس مجلس الإدارة

عماد سالم

المدير العام

أحمد فؤاد الهادى

مدير الإنتاج

أحمد عبد الحليم

الطبعة الأولى
الكتاب : تركيب وتشغيل وصيانة المحرك الكهربائى
المؤلف : إعداد مهندس / محمود عبدالله محمد
تصنيف الكتاب : تعليم
تصميم الغلاف : أحمد عبد الحليم
إخراج : محمد إبراهيم
المقاس ١٧ × ٢٤
رقم الإيداع : ٢٠١٧/١٤٠٩٧
الترقيم الدولى : 978 - 977 - 776 - 431 - 5

العنوان : المكتبة والمطبعة ، ٣ ش صفوت - محطة المطبعة شارع الملك فيصل - الجيزة
التليفون : ٠١٢٢٩٣٠٠٠٢٩ - ٠١٥٠٧٧٦٠٠٥٢
Email : yastoron@gmail.com
موقعنا على الفيس بوك : مؤسسة يسطرون للطباعة وتوزيع الكتب

الموسوعة الكهربائية المبسطة

تركيب وتشغيل وصيانة المحول الكهربائي

المحتوى

الباب الرابع

الباب الخامس

مقدمة

يتم توليد القدرة الكهربية باستخدام المولدات، ويتم نقل القدرة من محطات التوليد إلى المستهلكين عن طريق محطات النقل، ولاعتبارات اقتصادية يتم رفع الجهد عند محطات التوليد باستخدام محولات رفع ثلاثية الوجه، حيث يتم نقل القدرة عند الجهود العالية، ثم يتم خفض الجهد مرة أخرى إلى جهد التوزيع باستخدام محولات خفض، فالمحول الكهربي هو معدة ساكنة لا تحتوي على آية أجزاء متحركة تستخدم لنقل القدرة الكهربية دون تغيير في قيمة القدرة من جهة (الملف الابتدائي) إلى جهة أخرى (الملف الثانوي)، وذلك بتغيير قيم مكونات هذه القدرة (الجهد والتيار) مع المحافظة على التردد دون تغيير، وتبنى فكرة عمله على الحث الكهرومغناطيسي المتبادل بين ملفين.

آهمية وجود المحولات في الشبكات الكهربية

يعتبر المحول الكهربي معدة مهمة جدا ولها فوائد كثيرة في الدوائر الكهربية، ويتم استخدام المحول في حالات كثيرة منها :

1- ضرورة استخدام المحولات، وذلك للتخلص من ظاهرة الهبوط في الجهد نظراً لبعد مسافة مراكز الأحمال عن أماكن التوليد

2- ضرورة استخدام محولات الرفع عندما تكون القدرة المتولدة كبيرة، للحد من استخدام عدد موصلات كبير.

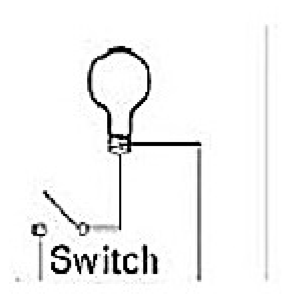
3- عند وجود مستويات مختلفة للجهود في المحطات نتيجة لاختلاف جهود التوليد

وسوف نقوم بدراسة هذه الحالات لبيان أهمية المحولات :

الحالة الأولى :

لنفترض أن لدينا مولدًا كهربائيًا يولد جهدًا مقداره 220 فولت (220V)

ومطلوب إضاءة لمبة قدرتها 110 وات (110Watt) على بعد 20 كيلومتر (20 KM) من المولد عن طريق سلك نحاس مساحة مقطعه 1مم2.



شكل (1)

نقوم بحساب مقاومة اللمبة كالآتي :

$$R1 = E^2/P$$

$$R1 = (220)^2 / 110 = 440\ \Omega$$

نقوم بحساب مقاومة السلك كالآتي :

حساب مقاومة السلك (R2) = المقاومة النوعية للنحاس × الطول \ مساحة المقطع

$$R = (\rho \times L)/A$$

Where R = Wire resistan. Ω

ρ = Resistivity in Ohms - mm^2/m = 0.0172

L = Length of conductor in meters= 20000

A = Area of cross section of the conductor, mm2 = 1

مقاومة طرف واحد من السلك

$$R = 0.0172 \times 20000 / 1 = 344\ \Omega$$

مقاومة الطرفين من السلك

$$R = 2 \times 344 = 688\ \Omega$$

المقاومة الكلية = 440 + 688 = 1128 أوم

التيار المار = 220 \ 1128 = 0.195 أمبير

هذا التيار سوف يمر في مقاومة اللمبة ومقاومة السلك ولذلك يتولد فرق جهد بين طرفي السلك يمكن حسابه كالتالي :

فرق الجهد بين طرفي السلك

من المعروف أن أي حمل يصمم على العمل على جهد امصدر، فإذا كان الجهد عند المصدر يسمى الجهد المرسل Sending Voltage، والجهد عند الحمل يسمى الجهد المستقبل Reciving Voltage، فلكي يعمل الحمل بكفاءة وبصورة مرضية لابد أن يكون الجهد المستقبل يساوي الجهد المرسل، ولكن في الحياة العملية هذا الشرط لا يتحقق لوجود فقد في الجهد، وهذا الجهد المفقود يكون نتيجة استهلاك طاقة بسبب مرور التيار في مادة الموصل نفسه. فحيث إن السلك من مادة النحاس، وهذا السلك له مقاومة (تم حساب المقاومة سابقا)، فنتيجة لمرور التيار في مقاومة السلك فإنه يتولد جهد طبقا لقانون أوم أي أن (الجهد المرسل = الجهد المستقبل + الجهد المفقود)

الهبوط في الجهد Voltage Drop نتيجة مرور التيار في السلك = 0.195× 688 = 134 فولت. ونسبة هذا الجهد حوالي 61% من جهد المصدر، أي أنه حوالي 134 فولت من جهد المصدر يتم فقدها نتيجة استهلاك التيار في مادة الموصل .وبالتالي فإن الجهد المتبقي لا يستيع تشغيل الحمل .

هذا المثال يوضح أنه لا يمكن نقل القدرة على الجهود الصغيرة لمسافات بعيدة. وإذا تم استخدام مولد كهربائي يولد جهد مقداره 6600 فولت، فيكون

هناك صعوبة في التعامل مع هذا الجهد لأنه لا يمكن استخدام أجهزة ومعدات في المنازل والمصانع تعمل بجهود عالية (بالكيلوفولت)، لذلك كان لابد من استخدام المحولات لتحقيق الشرطين معا، أي استخدام محولات في محطات التوليد لنقل القدرة على جهود عالية لتقليل الهبوط في الجهد ثم استخدام محولات لخفض الجهد لإمكانية التعامل معه في المنازل والمصانع وباقي مراكز الأحمال.

الحالة الثانية :

نفترض وجود محطة توليد بها 10 مولدات قدرة كل مولد 50 ميجاوات، وأن جهد التوليد 20 كيلوفولت ونريد نقل هذه القدرة من محطة التوليد إلى محطات التوزيع و مناطق الاستهلاك، فعند حساب قيمة التيار المنقول من المعادلة التالية:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\emptyset \ watt$$

وبفرض أن معامل القدرة يساوي 0.8 نجد أن قيمة التيار يساوي حوالي 10.4 كيلوأمبير ،وحيث إن الموصل النحاسي الذي مقطعه 300 مم² يتحمل تيار مقدارة 400 أمبير تقريبا فإننا نحتاج تقريبا إلى حوالي 26 كابل لنقل هذه الكمية من التيار الكهربي وهذا غير عملي ومكلف جدا.

فإذا تم استخدام محول رفع لرفع الجهد من 20 كيلوفولت إلى 500 كيلوفولت فإن التيار في هذه الحالة سوف يكون حوالي 750 أمبير، وبالتالي سوف يتم استخدام عدد 2 كابل بدلا من 26 كابل.

الحالة الثالثة :

يوجد العديد من محطات التوليد وجهد التوليد في المحطات يختلف من محطة إلى أخرى، فقد يكون جهد التوليد 6600 فولت أو 11000فولت أو 13800 فولت أو 15000 فولت وللربط بين هذه المحطات لعمل شبكة موحدة لابدمن استخدام المحولات لرفع أو خفض الجهود لقيم معينة يمكن الربط بينها.

الباب الاول

مكونات المحول

الفصل الاول

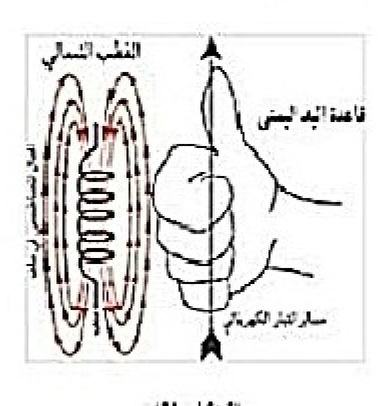
نظرية عمل المحول

نظرية عمل المحول :

لكي يتم فهم نظرية عمل المحول الكهربي لابد من فهم العلاقة بين التيار الكهربي والمجال المغناطيسي، وتتمثل هذه العلاقة في الآتي :

1- التأثير المغناطيسي للتيار الكهربي

فعندما يمر تيار كهربي متردد في ملف ينشأ حول هذا الملف مجال مغناطيسي متردد أيضا يتزايد هذا المجال بتزايد التيار المار في الملف، ويقل بنقص التيار، ويتم تحديد اتجاه المجال عن طريق قاعدة اليد اليمنى التي تنص على أنه إذا تم وضع الملف في اليد اليمنى بحيث تلتف الأصابع حول الملف في نفس اتجاه مرور التيار فإن أصبع الابهام يشير إلى اتجاه المجال داخل الملف وإلى القطب الشمالي للمغناطيس المؤقت الذي يصنعه هذا الملف كالمبين بالشكل (2).



الشكل (2)

الفصل الأول

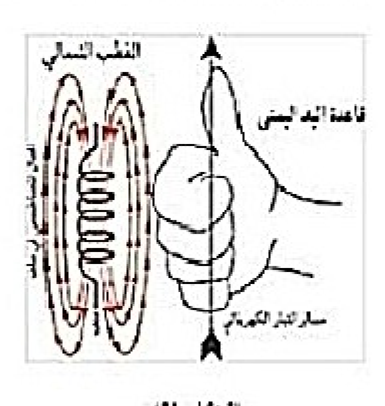
نظرية عمل المحول

نظرية عمل المحول :

لكي يتم فهم نظرية عمل المحول الكهربي لابد من فهم العلاقة بين التيار الكهربي والمجال المغناطيسي، وتتمثل هذه العلاقة في الآتي :

1- التأثير المغناطيسي للتيار الكهربي

فعندما يمر تيار كهربي متردد في ملف ينشأ حول هذا الملف مجال مغناطيسي متردد أيضا يتزايد هذا المجال بتزايد التيار المار في الملف، ويقل بنقص التيار، ويتم تحديد اتجاه المجال عن طريق قاعدة اليد اليمنى التي تنص على أنه إذا تم وضع الملف في اليد اليمنى بحيث تلتف الأصابع حول الملف في نفس اتجاه مرور التيار فإن أصبع الابهام يشير إلى اتجاه المجال داخل الملف وإلى القطب الشمالي للمغناطيس المؤقت الذي يصنعه هذا الملف كالمبين بالشكل (2).



الشكل (2)

2- الحث الكهرومغناطيسي

حيث إن للتيار الكهربي تأثيراً مغناطيسيا، أي أنه إذا مر تيار في ملف فإنه يتولد حول الملف مجالا مغناطيسيا، ولكن «فارادي» اكتشف ظاهرة مهمة جداً وهي ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي فإذا وجد موصل في مجال مغناطيسي فإنه يتولد تيار كهربي في هذا الموصل وهي ظاهرة توليد قوة دافعة كهربية مستحثة، وكذلك تيار كهربي مستحث في موصل نتيجة قطعه لخطوط فيض مغناطيسي، وهي الظاهرة التي يبنى عليها عمل المحول الكهربي.

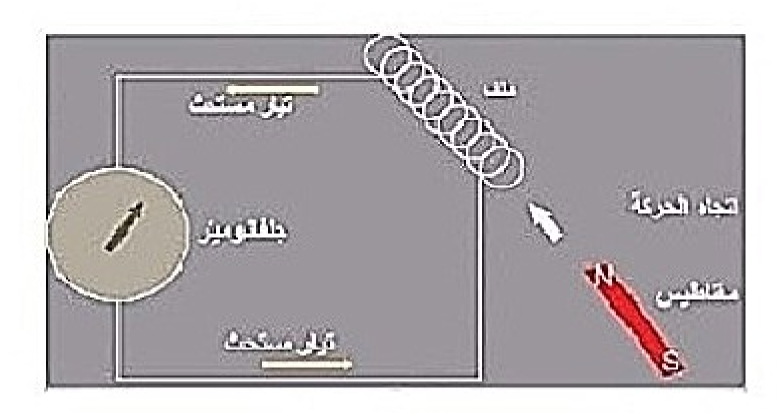
تجربة فراداي

قام فارادي بإعداد ملف سلك من النحاس، لفاته معزولة بعضها عن البعض الآخر، وتم توصيل طرفيه بجلفانومتر وعند إدخال مغناطيس في الملف انحرف مؤشر الجلفانومتر لحظياً في اتجاه معين وعند إخراج المغناطيس انحرف المؤشر في الاتجاه المضاد.

فسر «فراداي» ذلك بأنه نتيجة لقطع لفات السلك لخطوط الفيض المغناطيسي أثناء حركة المغناطيس فإن الإليكترونات الحرة لذرات الموصل تتأثر فتندفع من أحد طرفي الملف (ويصبح موجبا) إلى الطرف الآخر (ويصبح سالب) فينشأ بين طرفي الملف فرق في الجهد أو قوة دافعة كهربية مستحثة ويمر تيار كهربي مستحث في الملف كما هو موضح بالشكل (3) وتعتمد قيمتها على الآتي :-

1- معدل تغير التيار بالنسبة للزمن (di / dt)

2- معامل الحث الذاتي للملف(L)



الشكل (3)

شروط توليد تيار مستحث في موصل: من التجربة السابقة نلاحظ أنه هناك شروط لتوليد تيار مستحث لابد من توافرها وهي:

1- فيض مغناطيسي.

2- حركة مغناطيس أو (تيار متردد).

3- موصل كهربي جيد في دائرة مغلقة.

الجهد أو التيار أو الفيض المتولد بالحث يحاول دائما معاوقة السبب الذي أنشأه، ويتخذ في الملف اتجاها معينا بحيث يعاكس التغير المسبب له ويسمى ذلك (قاعدة لنز).

الحث الذاتي للملف

فإذا سلط جهد متردد علي ملف في دائرة مغلقة نسوف يحدث الآتي :

1- يمر تيار متردد في الملف لأن الدائرة مغلقة.

2- عندما يمر تيار كهربي متردد في ملف ينشأ حول لفات هذا الملف مجال مغناطيسي، طبقا لنظرية التاثير المغناطيسي للتيار الكهربي.

3- كل لفة تعمل كمغناطيس له خطوط فيض، تقوم اللفات المجاورة بقطع خطوط الفيض المغناطيسي لهذه اللفة ويتولد جهد وتيار مستنتج بالحث الذاتي.

4- طبقا لقاعدة لينز فإن التيار المستنتج بالحث الذاتي يعارض زيادة التيار

في الملف وإذا فصل الجهد عن الملف فإن التيار لمتولد بالحث يعارض تناقص التيار في الملف.

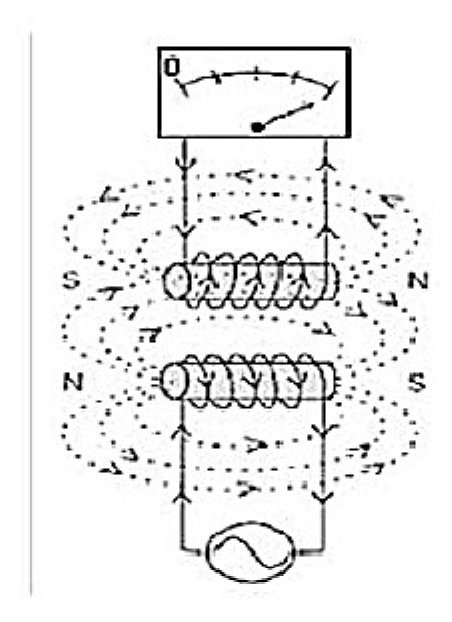
5- أي أنه يتولد على طرفي الملف جهد وتيار يعارض الزيادة والنقص في الجهد و التيار المار في الملف، وكلما زاد معدل تغير التيار زادت قيمة هذا الجهد المعارض لحدوث التغيير.

ومن هنا يمكن تعريف الحث الذاتي للملف على أنه :.

هو التأثير الكهرومغناطيسي الحادث في نفس الملف عند تغير شدة التيار المار به بحيث يعمل على مقاومة هذا التغير.

الحث المتبادل بين ملفين

وهي النظرية التي يتم على أساسها عمل المحول فإذا تم عمل ملفين قلبهما من الحديد وتم توصيل أحدهما بمصدر تيار متردد وتم توصيل الآخر بأميتر كما في الشكل (4).



الشكل (4)

مع العلم بأن الملفين غير متصلين كهربيا معا فسوف يحدث الآتي :

1- عند تسليط جهد متردد على الملف الأول، فإن الجهد يعمل على حركة الإلكترونات.

2- حركة الإلكترونات تعني مرور تيار.

3- عند مرور تيار كهربي في موصل فإنه يتولد مجال مغناطيسي حول الموصل.

4- يتم لف الموصل على شكل ملف لكي يزيد من قوة المجال، فإذا مر تيار كهربي (I) في ملف عدد لفاته (N) فسوف تتولد قوة دافعة مغناطيسية (Ampere • turn) تقدر قيمتها بالأمبير • لفة (mmf) Magneto motive force وهذه القوة الدافعة المغناطيسية هي التي تدفع الفيض المغناطيسي للمرور في القلب الحديدي ($mmf = N \times I$)

5- لفات الملف الثاني تقوم بقطع خطوط الفيض المتولدة في الملف الأول وبالتالي يتولد بها قوة دافعة كهربية بالحث Induced Electro Motive force (emf) ويتولد تيار يمر بجهاز الأميتر.

6- حيث إن كل لفة على حدة يخترقها نفس العدد من الخطوط فإنه يتولد على طرفي كل لفة نفس الجهد، ويكون جهد كل لفة موصلاً على التوالي مع اللفة التي تليها بحيث يكون الجهد الكلي المستحث على طرفي الملف = عدد اللفات × جهد اللفة.

7- طبقا لظاهرة الحث المتبادل بين ملفين، فإن لفات املف الثاني تقطع نفس خطوط الفيض المتولدة عن الملف الأول فيتولد على طرفي كل لفة جهد مستحث ويكون جهد كل لفة موصلا على التوالي مع اللفة التي تليها بحيث يكون الجهد الكلي المستحث على طرفي الملف الثاني = عدد اللفات × جهد اللفة

وبالتالي يمكن التحكم في الجهد المتولد في الملف الثاني عن طريق التحكم في عدد اللفات، فإذا كان عدد لفات الملف الثاني أكبر من عدد لفات الملف الأول فإن الجهد المتولد بالحث في الملف الثاني يكون أكبر من جهد الملف الأول.

وإذا كان عدد لفات الملف الثاني أقل من عدد لفات لملف الأول فإن الجهد المتولد بالحث في الملف الثاني يكون أُقل من جهد الملف الأُول.

أي أنه يمكن رفع الجهد أو خفضه عن طريق التغيير في عدد لفات الملفين.

الفصل الثاني

الدائرة المكافئة للمحول

المحول المثالي Ideal Transformer

المحول المثالي Ideal Transformer هو محول نظري، ولا يوجد في الحياة العملية، والغرض الرئيسي من دراسته هو سهولة الحصول على الحسابات الرياضية الخاصة بالمحول الفعلي Actual Transformer. ففي المحول المثالي يفترض الآتي :

1- ملفات المحول (الملف الابتدائي والثانوي) هي ملفات مثالية Pure Inductive Coils وهذا يعني أن الملفات ليس لها مقاومة مادية Zero Resistance of the Windings.

2- القلب الحديدي له نفاذية مطلقة Infinite Permeability core أي يمرر كل خطوط الفيض المغناطيسي ولا يحدث لها تسريب.

وبالتالي يتميز المحول المثالي بالتالي :

أ- لا توجد مفاقيد نحاسية فنظرا لعدم وجود مقاومة مادية للملفات فإن القيمة ($I^2R = 0$)، وهذا يترتب عليه عدم وجود هبوط في الجهد بين أطراف المحول، أي أن الجهد المتولد بالحث في الملف الابتدائي يساوي الجهد على أطراف الملف الابتدائي ($V_1 = E_1$) و الجهد المتولد بالحث في الملف الثانوي يساوي الجهد على أطراف الملف الثانوي ($V_2 = E_2$).

2- نظرا لأن القلب الحديدي يتميز بنفاذيته المطلقة، فإنه لا يوجد تسرب للفيض المغناطيسي Leakage Flux، أي أن كل الفيض المتولد يقطع ملفات

الابتدائي والثانوي، وبالتالي عن طريق تطبيق قانون فاراداي يمكن تحديد العلاقة بين الفيض والجهد المتولد بالحث في الملف الابتدائي

$$E1 = N1\ (d\Theta / dt)$$

والعلاقة بين الفقيض والجهد المتولد في الملف الثانوي

$$E2 = N2\ (d\Theta / dt)$$

وبقسمة المعادلة الأولى على الثانية نجد أن :

$$E1 / E2 = N1 / N2$$

3– وحيث إنه لا توجد مفاقيد فإن القدرة على كل الملفين متساوية أي أن

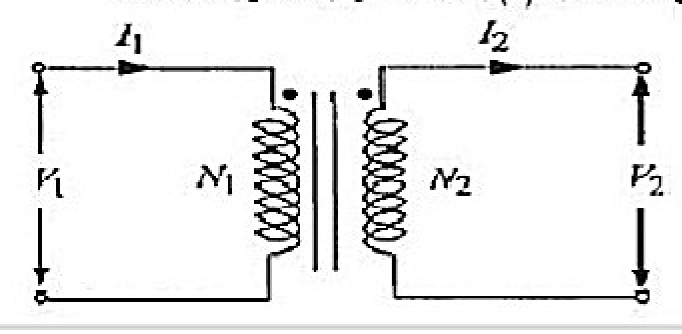
$$E1\ I1 = E2\ I2$$

4– نتيجة لعدم وجود مفاقيد نحاسية Cupper Losses ناتجة من الملفات وعدم وجود مفاقيد حديدية ناتجة عن التيارات الدرامية Eddy Current والتخلفية المغناطيسية Hysteresis Losses فإن كفاءة المحول المثالي 100% .

مما سبق يمكن استنتاج المعادلة الأساسية للمحول المثالي وهي :

$$E1 / E2 = N1 / N2 = I2 / I1 = K$$

وتسمى هذه النسبة (K) بنسبة التحويل للمحول Turns ratio



الشكل (5)

الدروس المستفادة من دراسة المحول المثالي

المحول في الحياة العملية به عدة مفاقيد تجعل كفاءته لا تصل إلى% 100، ولذلك تم التغلب على أسباب الفقد للحصول على أعلى كفاءة كالتالي :

1- حيث إن لفات الملف الابتدائي ولفات الملف الثانوي لهما مقاومة مادية R1 & R2 تتوقف قيمتهما على نوع الموصل ومساحة مقطعه، وهذا يعني أن القدرة الداخلة تصبح أكبر من القدرة الخارجة وذلك لوجود مفاقيد داخل الملف خلال هذه المقاومة، أي أنه يتم فقد جزء من الطاقة على شكل حرارة نتيجة مقاومة أسلاك المحول، لذلك يتم استخدام النحاس النقي ذي المقاومة النوعية الصغيرة.

2- يتم فقد جزء من الطاقة على شكل حرارة في القلب الحديدي بسبب التيارات الدوامية، لذلك يتم صنع القلب الحديدي على شكل شرائح معزولة عن بعضها.

3- يتم فقد جزء من الطاقة بسبب تحريك الجزيئات المغناطيسية للقلب الحديدي لذلك يتم صناعة القلب الحديدي للمحول من الحديد الصلب السليكوني المسحوب على البارد موجه الحبيبات.

4- في المحول المثالي Ideal transformer يمر الفيض الناشئ من لفات الملف الابتدائي كله في القلب الحديدي دون تشتت أو تسريب حتى يقطع لفات الثانوي، وكذلك الحال بالنسبة للفيض الناشئ نتيجة مرور تيار في الملف الثانوي، ولكن الوضع يختلف بالنسبة للمحول الفعلي فيتم تسرب جزء من هذا الفيض خارج القلب الحديدي ويسمى بالفيض المتسرب leakage Flux، وهذا الفيض المتسرب تتناسب قيمته طرديا مع طول المسافة بين الملفين، فكلما تباعد الملفان عن بعضهما زاد معدل التسرب، لذلك يتم لف الملفين على بعضهما البعض مع عزلهما بمادة عازلة.

وبذلك يتم تحسين كفاءة المحول لتصل إلى حوالي 95%، وبذلك يكون المحول الفعلي قريبا من المحول المثالي، ولذلك يتم استخدام المعادلات التي تم استنتاجها في المحول المثالي في المحول العملي.

المحول في حالة اللاحمل Transformer at no load

المقصود بحالة اللاحمل No load في المحول هو أن الحمل مفصول وغير متصل بالمحول، ويكون الملف الابتدائي فقط هو لمتصل بمصدر الجهد (V1). انظر الشكل (5). فعند توصيل جهد المصدر بالملف الابتدائي فعلى الرغم من أن الملف الابتدائي يتكون من سلك من النحاس مقاومته صغيرة فإنه من المفروض أن يمر به تيار كبير جداً، إلا أننا نلاحظ أنه يكاد ينعدم مرور التيار في الملف الابتدائي رغم اتصاله بمصدر الجهد (وذلك عندما تكون دائرة الملف الثانوي مفتوحة) ويمر فقط تيار صغير يسمى تيار اللاحمل (I_0) يسحب من المصدر، وهذا التيار الصغير يسمى بتيار الإثارة Excitation Curent أو تيار المغنطة Magnetization Current.

هذا التيار يقوم بإستثارة Excite الملف الابتدائي وينشأ فيض مغناطيسي، هذا الفيض يمر في القلب الحديدي ويتكون الآتي:

1- دائرة مغناطيسية في الملف الابتدائي:

فالملف الابتدائي يتكون من عدد N1 من اللفات ملفوف على القلب الحديدي المصنوع من مادة مغناطيسية، وهذا الملف يمر به تيار كهربي قيمته I1، وبالتالي سوف تتكون دائرة مغناطيسية وتنشأ قوة دافعة مغناطيسية (mmf1) motive force−magneto تعمل على مرور فيض مغناطيسي في القلب الحديدي يساوي:

$$Ø1 = N1 \times I1 / R1$$

والقيمة (N1 × I1) تساوي القوة الدافعة المغناطيسية وتقاس بوحدة (أمبير. لفة)، وهي التي تقوم بدفع الفيض المغناطيسي في القلب الحديدي، و R1 هي المقاومة المغناطيسية للملف الإبتدائي، أي أن:

القوة الدافعة المغناطيسية = الفيض × المقاومة المغناطيسية

$$(mmf1 = Ø1 \times R1)$$

2- دائرة كهربية في الملف الابتدائي:

الفيض المتولد في الملف الابتدائي يقطع لفات الملف الابتدائي وينشأ فيه قوة دافعة كهربية بالحث تكون قيمتها:

$$e1 = N1\ (d\Theta1\ /\ dt)$$

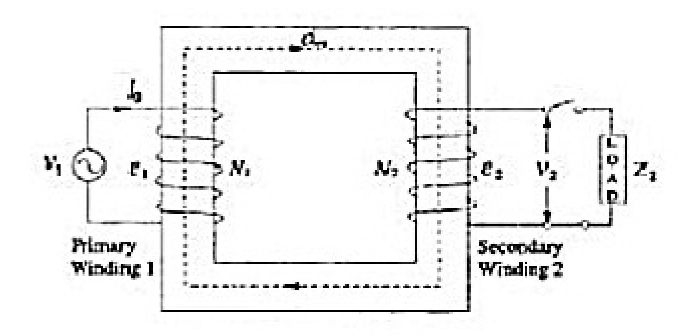
هذا الجهد المتولد بالحث يعاكس الجهد الأصلي للمصدر (طبقا لقاعدة لينز)، ويسمى قوة دافعة كهربية عكسية (Back Electro Motive Force (bemf، وبالتالي سوف يصبح هناك قيمتان للجهد على الملف الابتدائي هما: جهد المصدر (V1) والقوة الدافعة الكهربية العكسية (e1) ويكون اتجاهها عكس اتجاه جهد المصدر، وهذا يتسبب في جعل الجهد الفعلي الموجود على الملف لابتدائي لا يساوي V1 ولكن يساوي (V1-e1) وهذا الفرق في الجهد (وهو قيمة صغيرة) هو التي يجعل قيمة Excitation Current صغيرة.

3- دائرة كهربية في الملف الثانوي:

الفيض المتولد يمر في القلب الحديدي حتى يقطع لفات الملف الموجود في الجانب الثانوي فينشأ فيه قوة دافعة كهربية بالحث تكون قيمتها:

$$e2 = N2\ (d\Theta m\ /\ dt)$$

ولا تتولد دائرة مغناطيسية لأنه لا يمر تيار في الملف الثانوي، أي أنه يوجد جهد على أطراف الملف الثانوي حتى في حالة عدم وجود تيار.



الشكل (6)

المحول في حالة الحمل Transformer at load

1- عند غلق دائرة الملف الثانوي (الشكل 7) و توصيل حمل كهربي فإن الجهد (e2) الموجود في الجانب الثانوي يتسبب في مرور تيار (I2) في الحمل وفي لفات الملف الثانوي وتتكون دائرة مغناطيسية وتنشأ قوة دافعة مغناطيسية (Magneto – motive force (mmf2 تعمل على مرور فيض مغناطيسي في القلب الحديدي يساوي:

$$Ø2 = N2 \times I2 / R2$$

2- هذا الفيض المغناطيسي الجديد Ø2 المتولد في المف الثانوي يقاوم نمو الفيض المغناطيسي الأصلي Ø1 في الملف الابتدائي وبالتالي تصبح محصلة الفيض هي

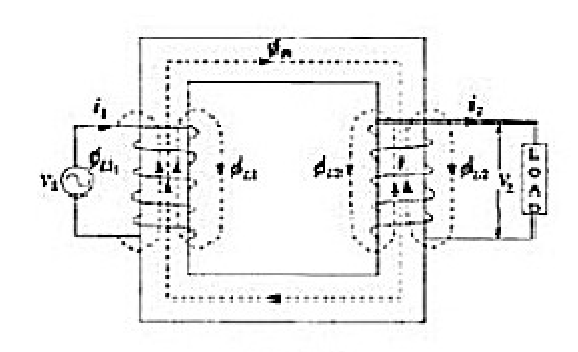
$$Øm = Ø1 - Ø2.$$

3- حيث إن الفيض المحصل (Øm) أقل من الفيض الأساسي (Ø1) فإن القوة الدافعة الكهربية العكسية (e1) المتولدة بالحث في الملف الابتدائي تقل وبالتالي تزيد قيمة (V1-e1) فيزيد التيار في الملف الابتدائي.

4- وهكذا كلما زاد التيار في الملف الثانوي يزيد التيار في الملف الابتدائي بنفس القيمة.

5- نلاحظ أن تيار (I0) أو Magnetization Current لا يتغير وإنما الذي سيتغير فقط هو التيار المسحوب من المصدر.

أي أنه يمر التيار الاصلي في الملف الابتدائي ويحدث ستهلاك في الطاقة إذا كانت دائرة الملف الابتدائي والثانوي مغلقة فقط.



الشكل (7)

الدائرة المكافئة للمحول الكهربي

الدائرة المكافئة للمحول هي طريقة لتحويل المحول إلى دائرة كهربية بسيطة يمكن من خلالها معرفة خواص التشغيل الأساسية للمحول ويتم تمثيلها كالتالي:

أولاً- تمثيل تيار اللاحمل في المحول

فالمحول في حالة اللاحمل no-load يسحب تياراً صغيراً يمر في الملف الابتدائي فقط وهو المسئول عن نشوء الفيض المغناطيسي والسبب في سحب هذا التيار هو:

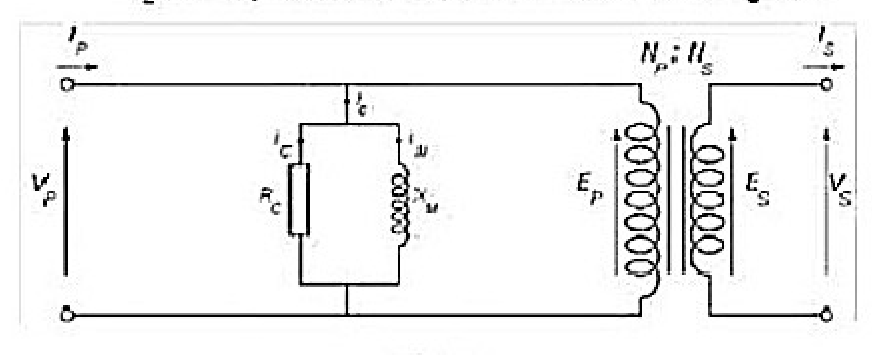
1- الفيض المتردد حين يقطع موصل يتولد فيه تيار كهربي، هذا الكلام ينطبق على الأسلاك النحاسية وعلى القلب الحديدي وهذا يعني أن القلب الحديدي سيمر به تيار حثي Induced Current هذا التيار يسمى بالتيار الدوامي Eddy Current وهذا التيار غير مرغوب فيه ويمثل فقد للقدرة على صورة حرارة تتولد في القلب الحديدي لذلك يتم تمثيل القلب الحديدي بمقاومة RC يتم من خلالها مرور تيار اللاحمل 0

2- عند مرور الفيض في القلب الحديدي فإن جزيئات القلب الحديدي تترتب في اتجاه المجال المغناطيسي المسلط عليها وعند فصل الدائرة الكهربية

فإنه من المفترض أن يختفي تأثير المجال على الجزيئات، ولكن هذا صحيح فقط في المحول المثالي Ideal Transformer، أما في المحول الحقيقي Real Transformer فيتبقى في المادة الحديدية جزء من المغناطيسية يسمى Residual Flux أي أننا فقدنا جزءاً من القدرة المغناطيسية داخل المادة الحديدية وهذه القدرة تسمى Hysteresis Losses يمكن تمثيلها في الدائرة المكافئة على شكل ملف له معاوقة قدرها XM .

3- لفات الملف الابتدائي لها مقاومة مادية صغيرة جداً (R) يمر بها تيار. وبالتالي يتم رسم المقاومة RC والملف XM على التوزي في دائرة المحول.

وسوف يتكون التيار I0 من جزئين الأول تيار فعال (Active Current) IC يمر في RC مقاومة القلب الحديدي Core Resistance وهو المسئول عن سخونة القلب والثاني تيار غير فعال (IM) Reactive Current يمر في XM ممانعة القلب Core Reactance وهو المسئول عن توليد الفيض المغناطيسي، من هذا التمثيل نجد أن تيار اللاحمل ثابت ولا يتغير مع تغير الحمل والشكل (8) يوضح تمثيل تيار اللاحمل ومقاومة وممانعة القلب الحديدي.



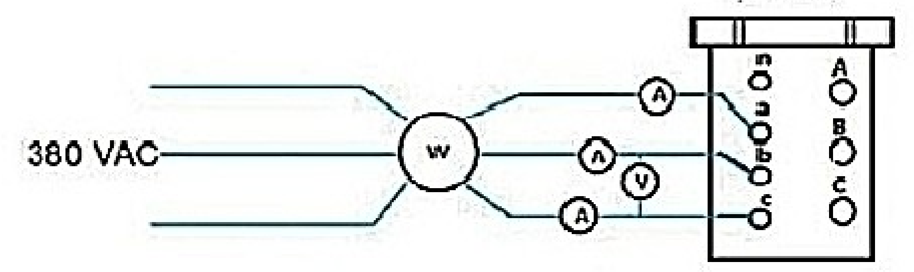
الشكل (8)

ويتم حساب قيم الممانعة الحثية (XM) والمقاومة المادية (RC) وكذلك قيمة مفاقيد اللا حمل في المحول No Load Losses عن طريق اختبار الـ Open Circuit Test كما هو مبين بالشكل (9). ويتم هذا الاختبار كالتالي:

1- يتم توصيل الملف ذو الجهد المنخفض Low Voltage Winding بمصدر الكهرباء ويتم التغذية بقيمة الجهد الاسمي للملف (380 فولت)، ونترك

الملف ذا الجهد العالي High Voltage Winding مفتوحا .

2– يتم توصيل فولتميتر Voltemeter وأميتر Ammeter وواتميتر Wattmeter وذلك لقياس الجهد(V) والتيار (I_0) والقدرة المسحوبة (PC) في الجانب المتصل بالمصدر.

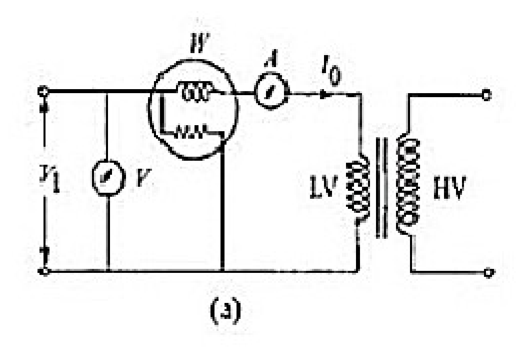


الشكل (9)

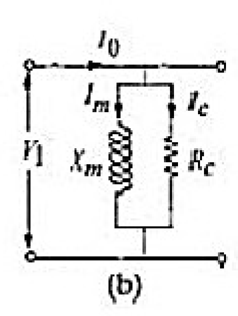
3– الواتميتر سوف يقوم بقياس القدرة المفقودة في القلب الحديدي بالإضافة للقدرة المفقودة في مقاومة ملفات الملف الابتدائي، فإذا كان تيار اللاحمل يساوي 1 % مثلا من تيار الحمل الكامل الـ Rated current (تيار اللاحمل عادة تتراوح قيمته من% 0.2 إلى% 2 من تيار الحمل الكامل) فإن المفاقيد الأومية Ohmic Loss في مقاومة ملفات الابتدائي تساوي تقريبا % 0.01 من مفاقيد الحمل Load Loss عند مرور تيار الحمل الكامل، فهذا يعني أن الطاقة المفقودة في لفات الملف المنخفض والتي يتم حسابها من المعادلة التالية :

$$P = I_o^2 R$$

تكون صغيرة جدا (التيار قليل والمقاومة قليله)، والهبوط في الجهد I R في الملف الابتدائي يكون قليل أيضا لذا يتم إهمال المفاقيد الأومية Ohmic Loss في مقاومة ملفات الابتدائي Primary winding Resistance مقارنة بالمفاقيد في القلب الحديدي Core Loss لذا يمكن اعتبار أن القدرة PC المقاسة تمثل القدرة المفقودة في القلب الحديدي فقط، كما هو موضح بالشكل (10).



(a)



(b)

الشكل (10)

القدرة المقاسة والتي تمثل القدرة المفقودة في القلب الحديدي إذا كان جانب الجهد المنخفض موصلا على شكل دلتا Delta تساوي :

$$P_C = \sqrt{3}\, V \times I_0 \times \cos \text{Ø}_0 \;\;\&\;\; \cos \text{Ø}_0 = P_C / \sqrt{3}\, V\, I_0$$

وتكون قيمة التيار الفعال IC والتيار غير الفعال IM

$$I_C = \left(I_0/\sqrt{3}\right) \times \cos \text{Ø}_0 \;\;\&\;\; I_M = \left(I_0/\sqrt{3}\right) \times \sin \text{Ø}_0$$

وتكون قيمة مقاومة القلب الحديدي RC و قيمة ممانعة القلب XM

$$R_C = P_C / I_C^2 = 3V^2 / P_C \;\;\&\;\; X_M = V / I_M$$

القدرة المقاسة والتي تمثل القدرة المفقودة في القلب الحديدي إذا كان جانب الجهد المنخفض موصلا على شكل نجمة Star تساوي :

$$P_C = \sqrt{3}\, V \times I_0 \times \cos \text{Ø}_0 \;\;\&\;\; \cos \text{Ø}_0 = P_C / \sqrt{3}\, V\, I_0$$

وتكون قيمة التيار الفعال IC والتيار غير الفعال IM

$$I_C = I_0 \times \cos \text{Ø}_0 \;\;\&\;\; I_M = I_0 \times \sin \text{Ø}_0$$

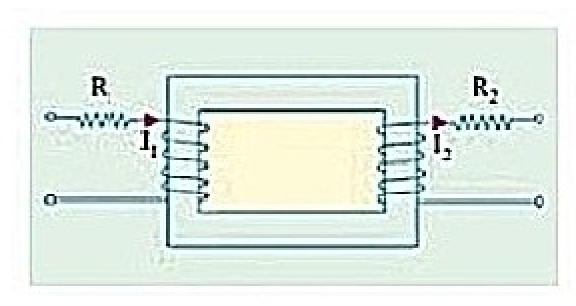
وتكون قيمة مقاومة القلب الحديدي RC و قيمة ممانعة القلب XM

$$R_C = P_C / I_C^2 = V^2 / P_C \;\;\&\;\; X_M = \left(V/\sqrt{3}\right) / I_M$$

ثانيا- تمثيل المعاوقة (المقاومة المادية والممانعة الحثية) في ملفات المحول

1- تمثيل المقاومة المادية في ملفات المحول

الملف الابتدائي والملف الثانوي يصنع غالبا من مادة النحاس التي لها مقاومة مادية، فالملف الابتدائي يكون له مقاومة مقدارها R1 والملف الثانوي له مقاومة مقدارها R2، والشكل (11) يوضح تمثيل مقاومة الملف الابتدائي والملف الثانوي.



الشكل (11)

ويمكن حساب مقاومة الملفات بالنسبة للملف الابتدائي Referred to Primary أو بالنسبة للملف الثانوي Referred to Secondary، فمقاومة الملف الثانوي عندما يتم حسابها في اتجاه الملف الابتدائي تساوي مقاومة الملف الثانوي على مربع نسبة التحويل (حيث إن K هي نسبة التحويل)، ومقاومة الملف الابتدائي عندما يتم حسابها في اتجاه الملف الثانوي تساوي مقاومة الملف الابتدائي في مربع نسبة التحويل:

$$R_1' = R_1/K^2$$

وبالتالي تصبح المقاومة المحصلة في اتجاه الملف الابتدائي تساوي R01

$$R_{t1} = R_1 + R_2' = R_1 + R_2/K^2$$

و تصبح المقاومة المحصلة في اتجاه الملف الثانوي تساوي R02

$$R_{t2} = R_2 + R_1' = R_2 + R_1/K^2$$

نتيجة لوجود هذه المقاومات فإنه يحدث هبوط في الجهد في كلا الملفين.

فالجهد المتولد بالحث في لفات الملف الابتدائي (E_1) يساوي الفرق بين جهد المصدر (V_1) والمقدار (I_1R_1)

$$E_1 = V_1 - I_1R_1$$

والجهد في الجانب الثانوي (V_2) يقل عن الجهد المتولد بالحث في لفات الملف الثانوي (E_2) بمقدار (I_2R_2)

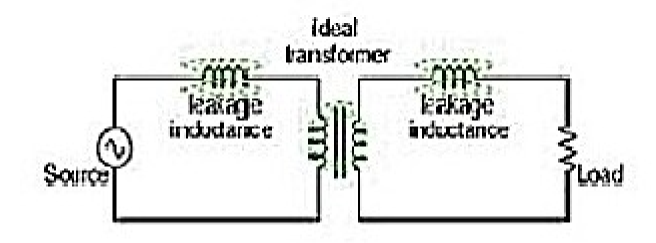
$$V_2 = E_2 - I_2R_2$$

2- حساب ممانعة الملفات في المحول

في المحول المثالي افترضنا أن الفيض المتولد في لفات الملف الابتدائي والملف الثانوي يمر كله في القلب الحديدي دون تشتت أو تسرب، ولكن في المحول العملي يوجد جزء من كل فيض يتسرب خارج القلب الحديدي يسمى الفيض المتسرب Leakage Flux .

وهذا الفيض المتسرب تتناسب قيمته طرديا مع طول المسافة بين الملفين،

فكلما تباعد الملفان عن بعضهما زاد معدل التسرب. لذا يتم وضع الملف الابتدائي والملف الثانوي بعضهما فوق بعض لتقليل الفيض المتسرب.



الشكل (12)

هذا التسرب في الفيض يعمل على حدوث هبوط في الجهد أيضا.

فالجهد المتولد بالحث في لفات الملف الابتدائي (E1) يساوي الفرق بين جهد المصدر (V_1) والمقدار (I_1X_1) أي أن : $E_1 = V_1 - I_1X_1$

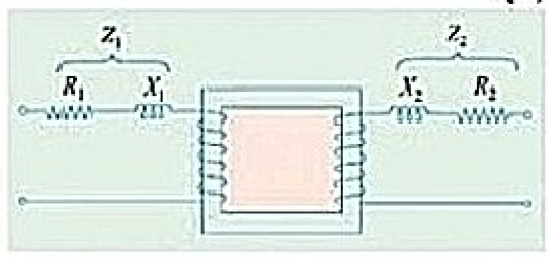
والجهد في الجانب الثانوي (V_2) يقل عن الجهد المتولد بالحث في لفات الملف الثانوي (E_2) بمقدار (I_2X_2) أي أن : $V_2 = E_2 - I_2X_2$

وبالتالي سوف يحدث هبوط في جهد المصدر V بمقدار I_1X_1 بالإضافة للمقدار I_1R_1.

ويحدث هبوط في الجهد المتولد بالحث في الملف الثانوي E_2 بمقدار I_2X_2 بالإضافة للمقدار I_2R_2.

$$V_1 = E_1 + (R_1 + jX_{L1})I_1$$

ويمكن تمثيل المقاومة والممانعة للملف الابتدائي والملف الثانوي للمحول كما في الشكل (13):

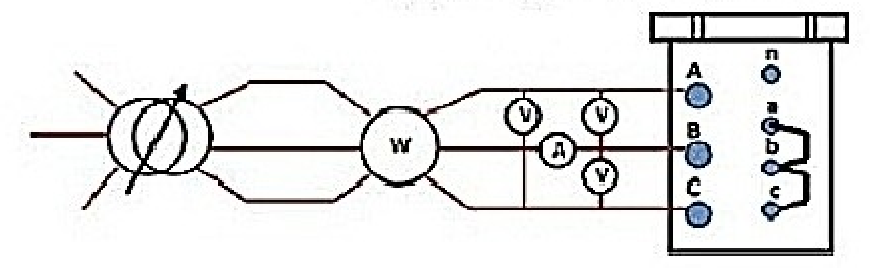


الشكل (13)

ويمكن حساب القيم R1،R2،X1،X2 من خلال اختبار يعرف باسم Short Circuit Test ويتم هذا الاختبار كالتالي:

1- يتم عمل قصر Short على ملفات الجهد المنخفض بسلك سميك، ويتم تغذية ملفات الجهد العالي بمصدر جهد يمكن التحكم في قيمته عن طريق ريجا فولت Rega Volt أو فارياك Variak .

2- يتم توصيل فولتميتر Voltemeter وأميتر Ammeter وواتميتر Wattmeter وذلك لقياس الجهد (VSC) والتيار (ISC) والقدرة المسحوبة (PSC) في الجانب المتصل بالمصدر كما في الشكل (14) .



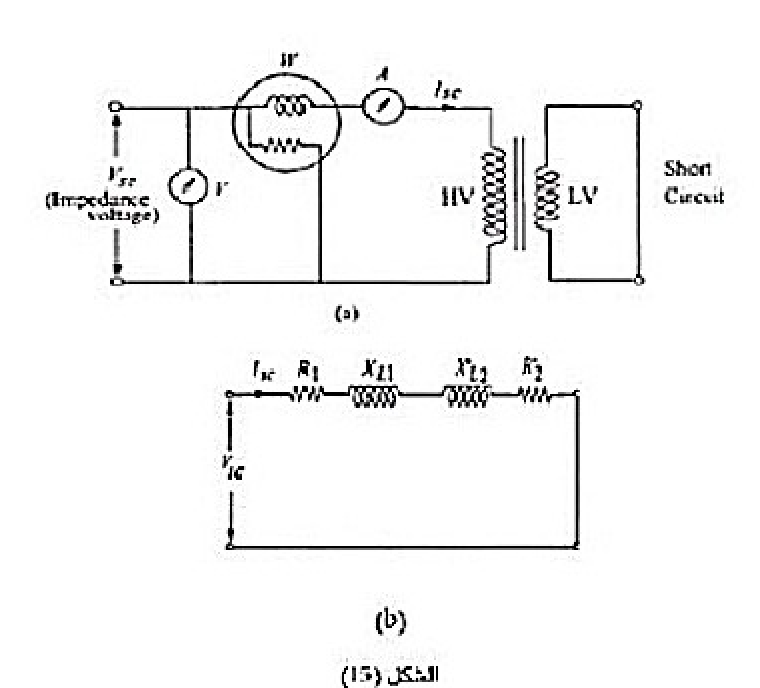
الشكل (14)

3- يتم رفع الجهد تدريجيا من المنفر على ملفات الابتدائي وقياس التيار حتى نصل إلى القيمة الاسمي للتيار Rated Current ، فإن الجهد الذي يسبب مرور قيمة التيار الكلي يسمى جهد المعاوقة Impedance Voltage وهو يساوي نسبة معينة من الجهد الكلي وتسمى Z%، فمثلاً إذا كانت قيمة الجهد الاسمية Rated Voltage للملف الابتدائي 6600 فولت، وكانت قيمة الجهد التي تسبب مرور التيار الاسمي هي 330 فولت، وهي تساوي 5% من قيمة الجهد الاسمية، فإن جهد المعاوقة في هذه الحالة يساوي 5%.

4- حيث إن قيمة تيار اللاحمل تساوي تقريبا 1% من التيار الاسمي للمحول Rated Current وذلك عند تسليط الجهد الاسمي Rated Voltage على ناحية الجهد المنخفض، كما تبين ذلك من اختبار اللاحمل No Load Test، أما في اختبار Short Circuit Test فإننا نلاحظ أن نسبة صغيرة جداً من جهد المصدر حوالي 5% تعمل على مرور التيار الاسمي للمحول لذلك يتم إهمال قيمة

تيار اللاحمل في هذا الاختبار لأنه عندما كانت قيمة الجهد تساوي 100% (قيمة اسمية) كانت قيمة تيار اللاحمل تساوي 1% من التيار الاسمي، وبالتالي عندما تكون قيمة الجهد 5 % مثلا فإن تيار اللاحمل يكون قيمة صغيرة جدا جدا يمكن إهمالها.

5- حيث إن قيمة R% تكون أقل بكثير من Z% لذا يمكن اعتبار أن X% تساوي تقريبا Z% .



(b)

الشكل (15)

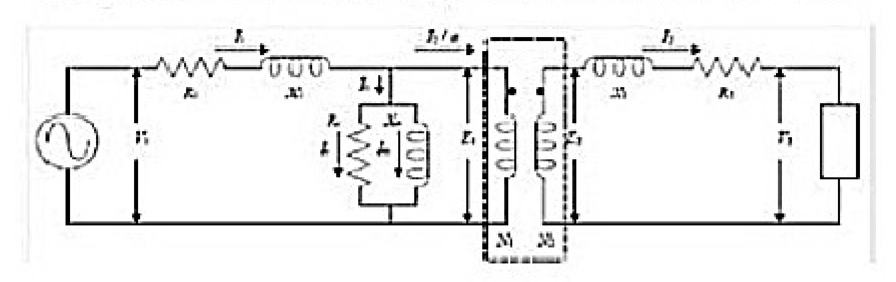
المعاوقة الكلية المقاسة إذا كان جانب الجهد العالي موصلا على شكل دلتا Delta (الشكل 15) تساوي:

$$R_{eq} = \frac{P_{sc}}{(I_{sc})^2}$$

$$Z_{eq} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_{sc}}{I_{sc}}$$

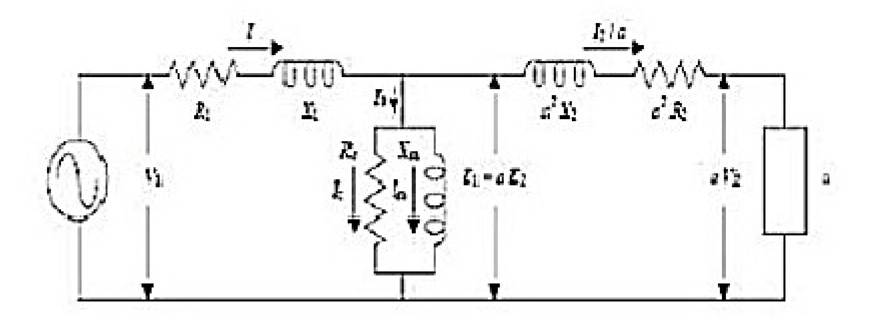
$$X_{eq} = \sqrt{\left|Z_{eq_HV}\right|^2 - \left|R_{eq_HV}\right|^2}$$

الدائرة المكافئة للمحول تكون كالتالي (بفرض أن نسبة التحويل هي (a)):

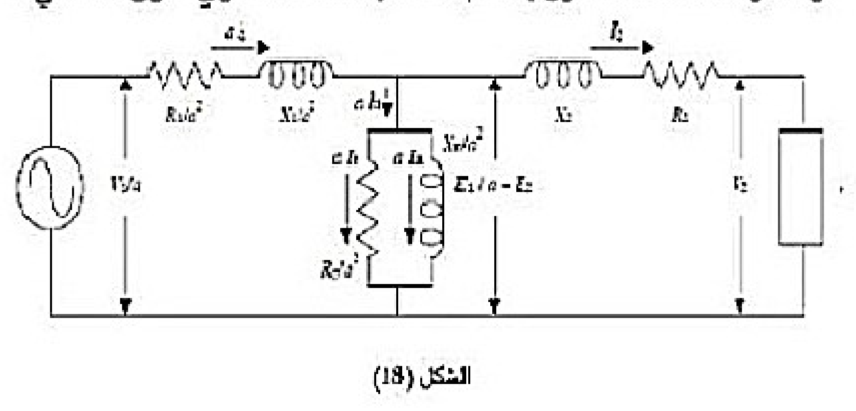


الشكل (16)

والدائرة المكافئة للمحول بالنسبة لناحية الملف الابتدائي تكون كالتالي :

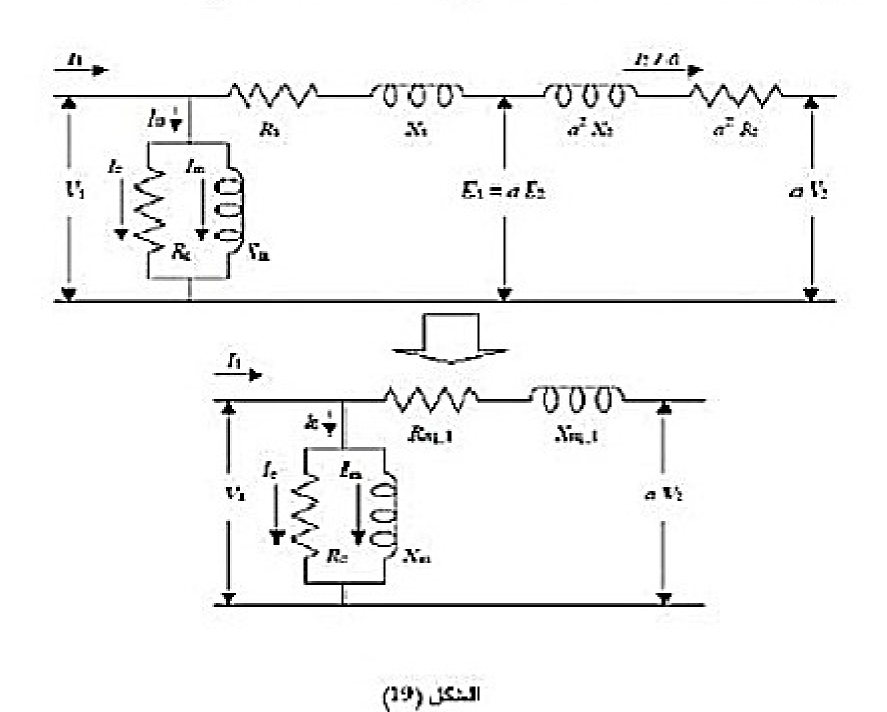


والدائرة المكافئة للمحول بالنسبة لناحية الملف الثانوي تكون كالتالي :



الشكل (18)

وتكون الدائرة المكافئة للمحول في أبسط صورها كالتالي :



الشكل (19)

الفصل الثالث

تركيب المحول

الأجزاء الرئيسية للمحول

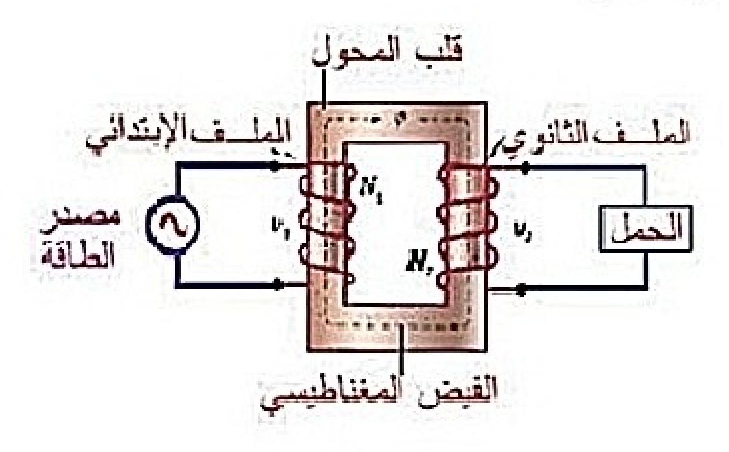
يتكون المحول من أجزاء أساسية أو رئيسية لابد أن تكون موجودة في كل محول كهربي وبدونها لا يعمل المحول، ويوجد هناك أجزاء مساعدة توجد في بعض المحولات، ولا توجد في المحولات الأخرى، وذلك حسب حجم المحول وقدرته وأماكن استخدامه وطرق تبريده.

والأجزاء الرئيسية للمحول كما هو موضح بالشكل (٤) هي :

1- الملف الابتدائي The Primary Winding

2- الملف الثانوي The Secondary Winding

3- القلب الحديدي The Core



الشكل (20)

1- الملف الابتدائي The Primary Winding:

ملف يصنع غالبا من أسلاك معزولة من النحاس الأحمر النقي، وجميع لفاته معزولة عن بعضها وعن القلب الحديدي عزلاً كهربياً، ويفضل النحاس لعدة أسباب منها :

1- قابليته العاليه للتوصيل الكهربي .

2- بطء التأكسد.

3- يتحمل الهواء الرطب.

4- درجة انصهاره عالية.

5- سهل اللحام.

6- سهل السحب والتشكيل.

وقد يصنع الملف من الألومنيوم، حيث إنه أخف في الوزن وأرخص في السعر ولكن مساحة المقطع تكون أكبر من مثيله في النحاس ويستخدم في المحولات الصغيرة فقط.

وتختلف درجة العزل ومساحة المقطع باختلاف قيمة الجهد وقيمة التيار المار به، ويتصل طرفا الملف الابتدائي بمصدر الجهد المتردد سواء كان جهد هذا المصدر عاليا أو منخفضا.

2- الملف الثانوي The Seconndary Winding:

ملف يصنع غالبا من النحاس المعزول، ويتصل طرفاه بالدائرة المراد امدادها بالتيار المتردد الناتج، أي يتم توصيله بالحمل وقد يكون جهد هذا الملف عاليا أو منخفضا، وفي المحولات العملية يكون الملفان الابتدائي والثانوي بعضهما داخل بعض وذلك لمنع تسرب بعض خطوط الفيض المغناطيسي خارج القلب الحديدي فتقطع خطوط الفيض جميعها الملف الثانوي.

ويمكن عمل مقارنة بين ملفات الجهد العالي وملفات الجهد المنخفض كالآتي:

ملفات الجهد العالي High Tension Winding: هي الملفات التي يتم توصيلها

بالجهد العالي (سواء كانت ملفا ابتدائيا أو ملفا ثانويا)

1- الملفات من سلك رفيع لأن التيار يكون صغيرا.

2- العزل يكون كبيرا لأن الجهد يكون عاليا.

3- عدد اللفات كبير لأن الجهد يكون كبير (جهد اللفة ثابت).

4- الملفات تكون من الخارج و ملفات الجهد المنخفض تكون من الداخل لان الجهد عالٍ.

ملفات الجهد المنخفض Low Tension Winding : هي الملفات التي يتم توصيلها بالجهد المنخفض (سواء كانت ملفا ابتدائيا أو ملفا ثانويا).

1- الملفات من قضبان سميكة لأن التيار يكون كبيرا.

2- العزل يكون قليلا لأن الجهد يكون صغيرا.

3- عدد اللفات قليل لأن الجهد يكون صغيرا.

4- الملفات تكون ملفوفة على القلب الحديدي لأن الجهد منخفض ولا يحتاج عزلا كبيرا.

3- القلب الحديدي The Core :

1- في البداية كانت الملفات من النوع ذات القلب الهوائي، وهي تلك الملفات التي يشغل الهواء ما بداخل إطارها الداخلي واحث الذاتي لمثل هذه الملفات صغير، وبالتالي كانت خطوط الفيض المتسربة Leakage current (أي التي لا تقطع الملفات) كثيرة.

2- لزيادة تركيز خطوط الفيض تم تصنيع الملفات من النوع ذي القلب الحديدي حيث يتركز المجال المغناطيسي داخل محول الملف ولا يشرد كثيرا خارجه وبالتالي يزيد من حث الملف.

3- ومع تطور صناعة المحولات تم صناعة القلب من الحديد الصلب السليكوني (بنسبة 5% من وزن الحديد) وذلك لزيادة تركيز خطوط الفيض، فالحديد الصلب له كفاءة عالية لتمرير الطاقة المغناطيسية وذلك لارتفاع النفاذية النسبية Permeability، كما أنه يعطي أقل قدر ممكن من مفقودات التيارات الدوامية eddy current مما يساعد على رفع كفاءة المحول.

بعض المحولات ولا توجد في البعض الآخر، وهذه الأجزاء المساعدة هي :

1- الخزان الرئيسي

يصنع الخزان من حديد غير مغناطيسي، وهو مصمم لعزل الجو الخارجي عن المحول وتحمل الاهتزازات والضغط ويقوم بحمل كتلة المحول من قلب حديدي وملفات ومواد عازلة. وتمتاز الخزانات الرئيسية في المحولات بتعدد أشكالها حسب قدرة المحول فمنه الدائري والمستطيل والقطع الناقص، ففي القدرات الصغيرة يكون سطح الخزان مسطح Plain Tank حيث يكون السطح المستوى كافياً للتخلص من الحرارة المتولدة بالملفات والتي تنتقل إليه بواسطة زيت التبريد، وفي القدرات المتوسطة يحتوي الخزان على زعانف Fins أو مواسير جانبية Tubed Tank حيث يتم إضافة سطح تبريد على شكل أنابيب خارجية يتم لحامها على جسم الخزان وتكون مساراً متوازياً لدوران الزيت داخلياً، وفي القدرات العالية يتم تركيب مشعاع تبريد على الخزان Radiators على الجوانب الأربعة للمحول.

وفائدة الخزان الرئيسي تتمثل في الآتي:

1- حماية القلب الحديدي والملفات.

2- حمل أطراف ومخارج التوصيل.

3- وضع وحفظ الزيت المستخدم في تبريد وعزل المحول.

4- حمل مواسير الإشعاع للمحول.

2- الخزان الإضافي Conservator

هو خزان أو تانك صغير يوضع فوق الخزان الرئيسي ويوضع فيه كمية من الزيت لتعويض تمدد وانكماش الزيت في الخزان الرئيسي، فنظراً لأن درجة حرارة المحول غير ثابتة نتيجة العوامل الجوية وتغير الأحمال فوجود الخزان الإضافي يحافظ على عدم زيادة الضغط نتيجة تمدد الزيت داخل المحول وأيضا عدم نقص الزيت، ويعمل على المحافظة على جودة الزيت بتقليل احتمالات تأكسده أو تعرضه للرطوبة عن طريق تقليل سطح الزيت الذي قد يتعرض للهواء

إلى أقل حد ممكن، فمن مواصفات زيت المحولات أن له معامل تمدد حجمي (0.00075 سم3 / سم3. درجة) أي أن حجم الزيت يزداد بزيادة درجة الحرارة ويقل بنقص درجة الحرارة، فإذا كان لدينا محول به 1000 لتر زيت عند درجة حرارة 25 درجة مئوية، فإذا زادت درجة حرارة الزيت وأصبحت 95 درجة، فإن حجم الزيت سيزداد ويمكن حساب الزيادة في حجم الزيت من المعادلة التالية:

الزيادة في حجم السائل

ΔV = معامل التمدد الحجمي × الحجم الأصلي × فرق درجة الحرارة

$\Delta V = 0.00075 \times 10000 \times 70 = 525$ لتر

حجم السائل (عند درجة حرارة 95)

$V95 = V25 + \Delta V = 10000 + 525 = 10525$

أي أن الزيادة تكون 525 لتر وهذا قد يسبب مشاكل للمحول، فإذا كان التانك الرئيسي محكم الغلق فإن هذه الزيادة في حجم الزيت قد تؤدي إلى انفجار المحول، ولذلك يتم إضافة التانك الاحتياطي ويكون حجم التانك الاحتياطي 1/10 (عشر) حجم التانك الرئيسي.



الشكل (21)



الشكل (22)

فالسهم رقم 1 في الشكل (21) يشير إلى الخزان الاحتياطي، والسهم رقم 2 يشير إلى مكان دخول الخزان الاحتياطي في الخزان الرئيسي وهو دائما يكون في ناحية البوشنج الخاص بالضغط المنخفض.

فعند ارتفاع درجة الحرارة يحدث زيادة في حجم الزيت فيتمدد الزيت داخل التانك الاحتياطي وعندما يبرد الزيت ينكمش فيتم استعواض الزيت منه ، فإذا كانت درجة الحرارة منخفضة وتم ملء التانك الرئيسي والتانك الاحتياطي بالزيت، فعند زيادة درجة الحرارة يزداد حجم الزيت ويزداد الضغط مسببا مشاكل كبيرة جدا منها عمل جهاز زيادة ضغط الزيت Oil Relief Valve أو حدوث طفح للزيت، وإذا كان المحول محكم الغلق وليس به جهاز زيادة ضغط الزيت، فمن الممكن حدوث فك لجسم المحول عند أضعف نقطة حام.

وإذا كانت درجة الحرارة عالية وتم ملء التانك الرئيسي والتانك الاحتياطي بالزيت، فعند انخفاض درجة الحرارة يقل حجم الزيت فقد لا يغطي الزيت جزءًا من القلب الحديدي والملفات.

3- جهاز امتصاص الرطوبة أو المتنفس (Breathing Devise)

حيث إن حجم الزيت يتغير بالزيادة والنقصان تبعا لدرجة الحرارة ، فلابد أن يصاحب ذلك عملية تنفس للمحول بمعنى أن يطرد المحول هواء عند ارتفاع درجة الحرارة نتيجة تمدد الزيت ، ثم يمتص الهواء عند انخفاض درجة الحرارة، لكي نضمن دخول الهواء جافا إلى المحول فإن الهواء يمر من خلال وعاء به ملح ماص للرطوبة يسمى السليكاجل (سليكات الألومنيوم)، ويكون هذا الجهاز دائما موجودا بالمحولات التي يكون بها خزان احتياطي، كما بالشكل (23).



الشكل (23)

٥- مؤشر منسوب الزيت Oil – level indicator

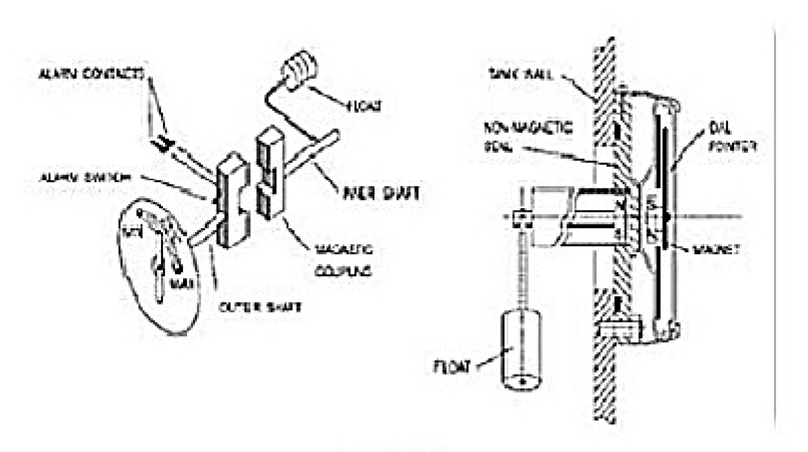
إن نقصان مستوى الزيت يدل على أن هناك تسريب من المحول، فلمراقبة مستوى الزيت أثناء الخدمة يتم استخدام عداد به مؤشر يتم تركيبه على الخزان الاحتياطي Magnetic oil – level indicator يوضح منسوب الزيت Oil Level عند أي درجة الحرارة، حيث يتم تعبئة الزيت في المحول حسب درجة حرارة الوسط المحيط وإلى المستوى المقابل لتلك الحرارة على المبين، والسهم رقم 3 في الشكل (21) يشير إلى هذا المؤشر ويتكون هذا العداد من:

1- عوامة داخل الخزان الاحتياطي مرتبطة بمغناطيس له قطبان (شمالي وجنوبي) والعوامة والمغناطيس مثبتان في الناحية الداخلية لأحد جوانب الخزان الاحتياطي.

2- يتم تثبيت مغناطيس آخر له قطبان (شمالي وجنوبي) ومربوط بهذا المغناطيس مؤشر Pointer في الناحية الخارجية لنفس الجانب، ويتم تثبيت هذا المغناطيس في وضع عكس المغناطيس الأول.

3- نلاحظ أنه لا يوجد اتصال ميكانيكي بين العوامة والمؤشر، حتى لا يصبح عداد مستوى الزيت مصدر من مصادر تسريب أو تلوث الزيت.

5- عند زيادة منسوب الزيت فإن العوامة تتحرك، وبالتالي فإن المغناطيس المربوط مع العوامة سوف يتحرك أيضا، وحيث إن المغناطيس الثاني مثبت في وضع عكس المغناطيس الأول فسوف يحدث تجاذب بين قطبي المغناطيسين (القطب الموجب للمغناطيس الأول مع القطب السالب للمغناطيس الثاني وبين القطب السالب للمغناطيس الأول مع القطب الموجب للمغناطيس الثاني) ونتيجة لذلك سوف يدور المغناطيس الثاني مسببا دوران المؤشر لبيان مستوى الزيت المناسب لدرجة الحرارة.



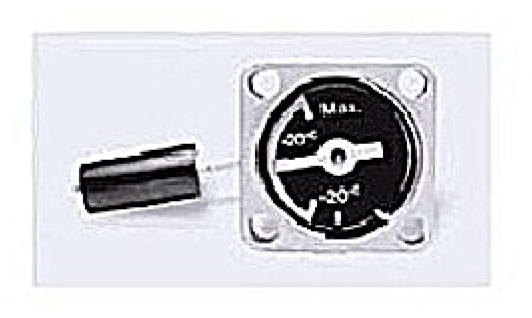
الشكل (24)

5- فعند ملء المحول بالزيت عند درجة حرارة (– 20°م) فإن حجم الزيت يكون قليلا، وبالتالي سوف يقل مستوى الزيت و يشير المؤشر على درجة (– 20°م) على عداد مبين مستوى الزيت، وكذلك إذا تم ملء المحول عند درجة حرارة (+ 20°م) فسوف يشير المؤشر إلى درجة (+ 20°م) على عداد مبين مستوى الزيت. أي أن هذا المؤشر يوضح العلاقة بين درجة حرارة التشغيل ومستوى الزيت.

6- تكون قيمة الـ Max عند درجة حرارة (+ 85°م) طبقا للمواصفة الأمريكية ANSI .

7- وللتأكد من أن هذا المؤشر يعمل بطريقة سليمة يتم النظر إلى درجة حرارة المحول من عداد درجة حرارة الزيت، ثم يتم النظر إلى مؤشر مستوى الزيت الذي سوف يكون عند مستوى يلائم درجة حرارة المحول.

ويوجد أنواع من هذا المؤشر بها نقاط مساعدة لإعطاء إنذار alarms أو فصل trip للمحول نتيجة لنقص مستوي الزيت.





شكل (25)

ويوجد نوع آخر من مؤشر الزيت يسمى المؤشر الأنبوبي، يشير إليه السهم رقم 3 في الشكل التالي.



الشكل (26)

5- مغير الجهد Tap Changer

لاحظنا أنه عند حدوث هبوط للجهد فإن جهد اللفة في الملف الابتدائي يقل، وبالتالي يقل جهد اللفة في الملف الثانوي وتكون النتيجة هي انخفاض جهد الملف الثانوي ، مما سبق يتبين أنه للتغلب على ظاهرة الهبوط في الجهد لا بد من المحافظة على ثبوت جهد اللفة.

وحيث إن جهد اللفة يتأثر بمعاملين :

1– الجهد على الملف الابتدائي وهو يتغير حسب جهد المصدر وظاهرة الهبوط في الجهد.

2- عدد اللفات وهو ثابت.

إذن لثبوت جهد اللفة لابد من تغير عدد اللفات مع تغير الجهد ، فإذا زاد الجهد يتم زيادة عدد اللفات وعند الهبوط في الجهد يتم تقليل عدد اللفات، وهذه العملية تتم عن طريق مغير الخطوة أو مغير الجهد Tap Changer.

أنواع مغير الجهد Tap Changer type :

1- مغير الجهد بدون حمل وفيه يتم فصل المحول من الناحيتين ثم يتم تغير الجهد.

2- مغير الجهد على الحمل وفيه يتم تغير الجهد والمحول في الخدمة.

أولا : مغير الجهد بدون حمل Off Load Tap Changer

فالشكل (27) يوضح فكرة عمل مغير الجهد، حيث يتم أخذ جزء من الملف الابتدائي (±5% من الملف) ويتم تقسيمها إلى أربعة أجزاء A، B، C & D ويتم خروج ستة أطراف تمثل خمسة أوضاع كالآتي:

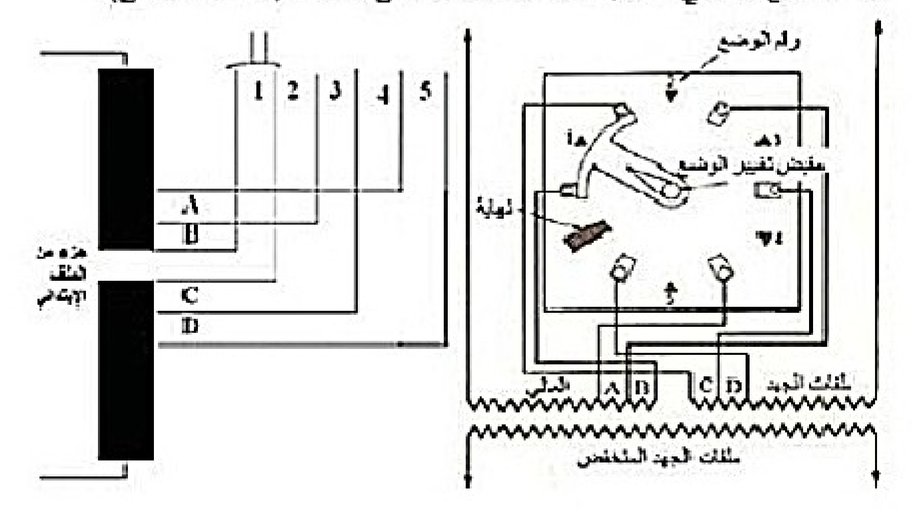
1- الوضع 1 يعني كل الملفات في الدائرة (أقل جهد خرج).

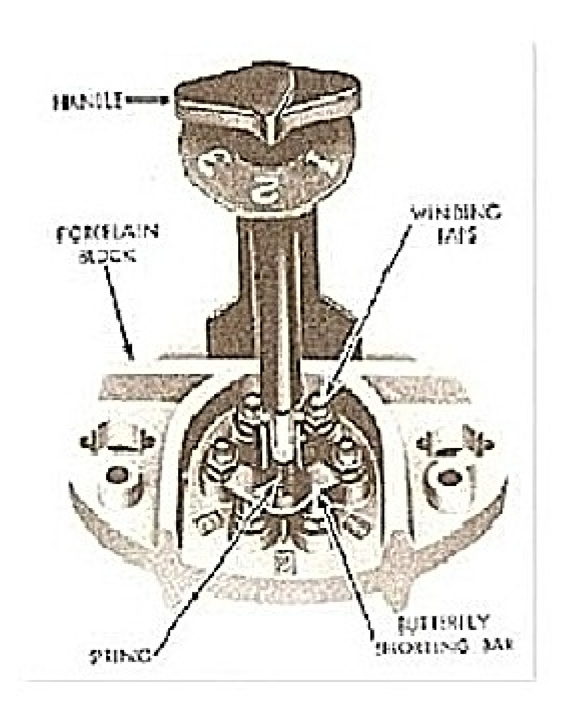
2- الوضع 2 يعني أن الجزء A خارج الدائرة.

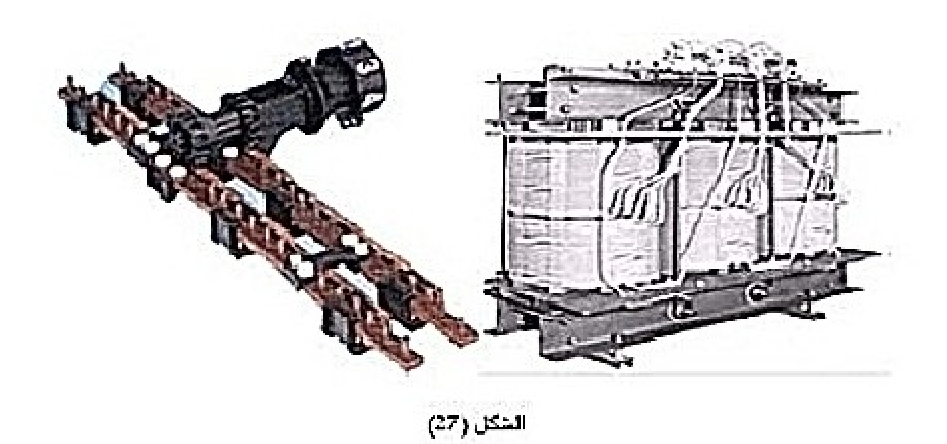
3- الوضع 3 يعني أن الجزء B+C خارج الدائرة.

4- الوضع 4 يعني أن الجزء A+B+C خارج الدائرة.

5- الوضع 5 يعني أن الجزء A+B+C+D خارج الدائرة (أكبر جهد خرج).




HANDLE
PORCELAIN
BLOCK
WINDING
TAPS
SPRING
BUTTERFLY
SHORTING BAR



الشكل (27)

ودائما نجد الجدول التالي على لوحة بينات المحول إذا كان المحول 6600 / 400 فولت

وضع مغير الجهد	جهد الابتدائي المفترض	جهد الثانوي في اللاحمل	عدد لفات الابتدائي
1	69300		عدد اللفات المعين+ 5%
2	6765		عدد اللفات المعين + 2.5%
3	6600	400	عدد لفات معين
4	6435		عدد اللفات المعين– 2.5%
5	6270		عدد اللفات المعين– 5%

إذن فمعرفة الجهد على الملف الابتدائي (بعد حساب الهبوط في الجهد) هو الذي يحدد وضع مغير الجهد، فمثلا:

1– إذا كان جهد المصدر 6600 فولت فيتم وضع مغير الجهد على الوضع 3، فهذا يعني أن جهد اللفة يساوي [6600 / (عدد لفات الملف الابتدائي – عدد لفات الجزء B+C)] وبذلك يكون جهد الثانوي 400 فولت.

2– إذا أصبح جهد المصدر 6765 فولت مثلا وتم تثبيت مغير الجهد على الوضع 3، فإن ذلك يعني زيادة الجهد، حيث إن ثبوت عدد اللفات مع زيادة الجهد يؤدي إلى زيادة جهد اللفة في الملف الابتدائي والثانوي، وبالتالي يزيد الجهد في الملف الثانوي إلى أكبر من 400 فولت وهذا يؤثر على الأحمال، لذلك نلجأ إلى زيادة عدد اللفات حتى يتم ثبوت جهد اللفة فيتم وضع مغير الجهد على الوضع 2 فيصبح جهد اللفة يساوي 6600 / (عدد لفات الملف الابتدائي – عدد لفات الجزء A).

3– وإذا أصبح الجهد 6435 فولت، و كان مغير الجهد على الوضع 3 فإن ذلك يعني نقص الجهد مع ثبوت عدد اللفات، والذي يؤدي إلى نقص جهد اللفة فيقل الجهد في الملف الثانوي، لذلك نلجأ إلى تقليل عدد اللفات حتى يتم ثبوت جهد اللفة فيتم وضع مغير الجهد على الوضع 4 فيصبح جهد اللفة يساوي 6600 / (عدد لفات الملف الابتدائي – عدد لفات الجزء A + B + C).

مثال عملي:

إذا كان لدينا محول قدره 300 ك.ف.أ جهد 6600 / 100 فولت يبعد مسافة 22 كيلومتر عن المصدر (مولد كهربائي جهد 6600 فولت) ومساحة مقطع الكابل 120 مم2 نحاس ومعزول بمادة XLPE فنظرا لظاهرة الهبوط في الجهد فإن الجهد يصل إلى المحول 6200 فولت وليس 6600 فولت، وبالتالي فإن جهد الخرج يصبح 357 فولت، وبالتالي فإن الأحمال سوف لا تعمل بصورة مرضية.

فكيف يتم حل هذه المشكلة ؟

إذا تم وضع مغير الجهد على الوضع 5 فإنه، كما سبق، يتم إلغاء عدد معين من لفات الملف الابتدائي فيزيد جهد اللفة في الملف الابتدائي، وبالتالي يزيد جهد اللفة في الملف الثانوي ويصبح جهد الخرج 390 فولت وبالتالي يتم التخلص من ظاهرة الهبوط في الجهد.

أين ولماذا توضع ملفات مغير الجهد؟

توضع ملفات مغير الجهد دائما ناحية الجهد العالي للأسباب الآتية :

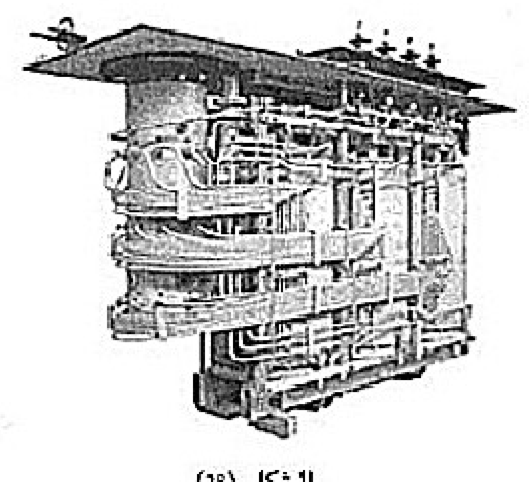
1- الملفات إلى الخارج فيسهل أخذ الأطراف.

2- التيار قليل فتكون الملامسات والبايات والمسامير أقل في الحجم والوزن.

3- عدد لفات كبير يمكن أخذ أي عدد بدون أي خطأ ملحوظ.

ثانيا : مغير الجهد على الحمل وفيه يتم تغير الجهد والمحول في الخدمة

في هذا النوع يكون التغيير للـ Tap و المحول متصل بالحمل أي لا يتم لفصل المحول من الخدمة ، حيث إنه مصمم لكبح التيارات العالية عند التغيير ولمنع وصول الشرارة يجب وجود زيت في صندوق مغير الجهد، ويكون هذا النوع من مغيرات الجهد إما مستقلا معزولا عن خزان المحول أو يثبت بخزان المحول، وهناك محرك يقوم بعملية تغيير الجهد.



الشكل (28)

مكونات مغير الجهد على حمل :

1- مفاتيح الاختيار Slector Switches :

وهذه المفاتيح تقوم باختيار وضع مغير الجهد على الملفات.

2- المفاعل Reactors :

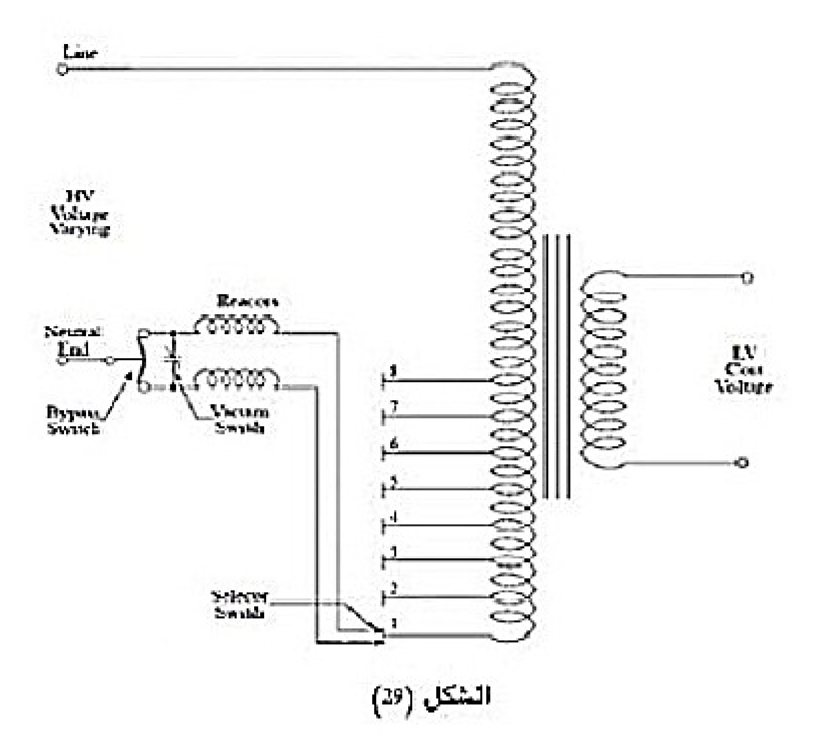
من أهم فوائد مغير الجهد على حمل هو عدم انقطاع التيار أثناء عملية تغيير وضع مغير الجهد، لذلك فعند تغير وضع مغير الجهد من نقطة إلى نقطة أخرى فسوف يكون هناك فترة زمنية يكون فيها مفتاح الاختيار متصلا بكلتا النقطتين، فنتيجة لوجود فرق في الجهد بين النقطتين على ملفات المحول سوف يتولد تيار دوار Circulating current لذلك يتم وضع المفاعل Reactor لزيادة معاوقة الدائرة والحد من التيار الدوار، وفي حالة التشغيل العادي فإن تيار الحمل يمر بالتساوي في نصفي ملفات المفاعل فالفيض المتولد في النصف الأول يلغي الفيض المتولد في النصف الثاني ويكون الفيض المحصل يساوي صفر، ونتيجة لعدم وجود فيض محصل لا توجد مفاعلة Inductance ولكن توجد مقاومة مادية فقط نتيجة مادة النحاس المصنوع منه ملفات المفاعل Reactor، وتكون قيمتها صغيرة ينتج عنها هبوط صغير في الجهد Voltage drop.

3- المفتاح المفرغ Vacuum Switch :

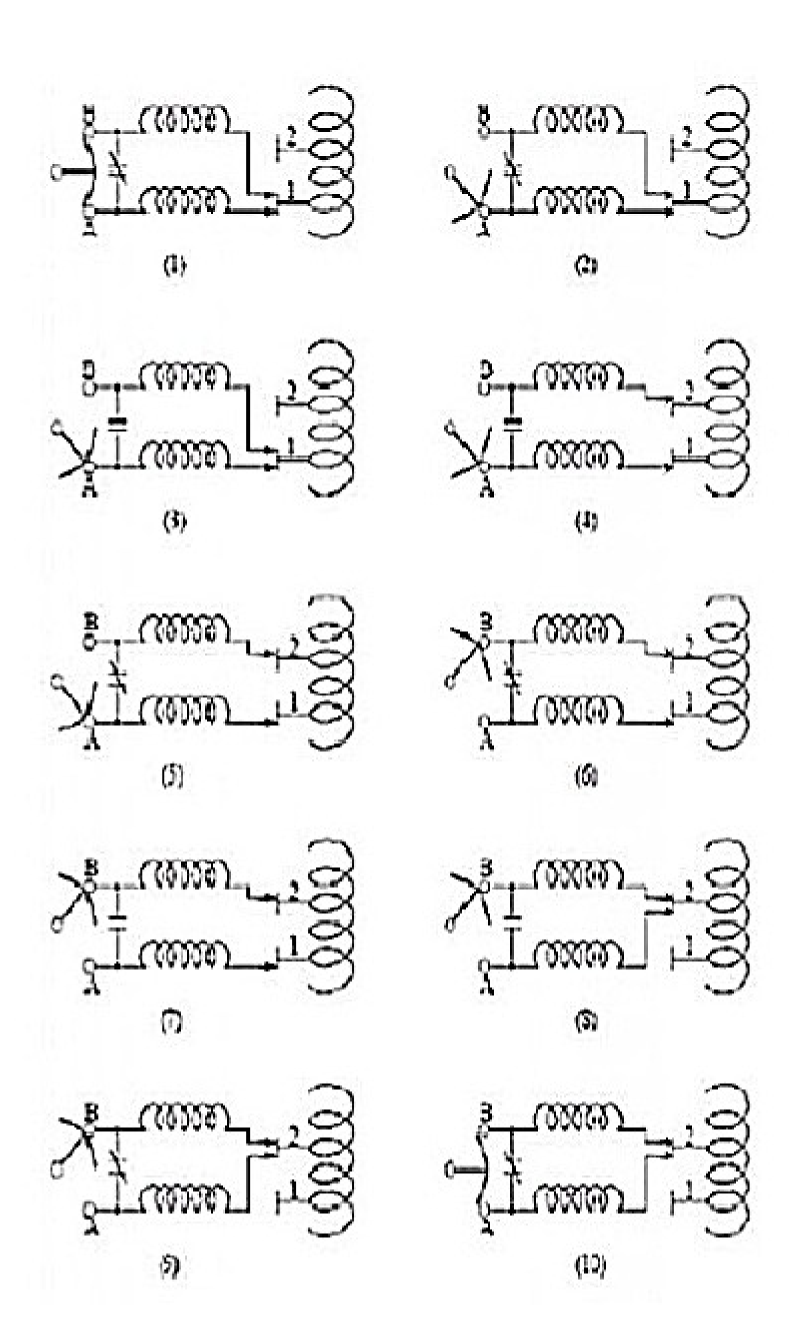
هي عبارة عن مفتاح Circuit Breaker يقوم بفصل وتوصيل التيار أثناء عملية تغيير وضع مغير الجهد.

4- مفتاح التخطي Bypass Switch :

هذا المفتاح يعمل أثناء تسلسل عملية تغير وضع مغير الجهد وهو أولا بالتوصيل قبل الفصل Make before Brake.



الشكل (29)



الشكل (30)

1- الشكل رقم 1 يمثل الوضع الطبيعي لمغير الجهد فيكون :

- مفتاح الاختيار Selector Switch عند الوضع رقم 1 لمغير الجهد.
- مفتاح الفاكيوم Vacuum Switch يكون مغلقا.
- مفتاح التخطي bypass Switch يقفل النقطتين A + B معا.

2- الشكل رقم 2 يوضح الآتي :

- مفتاح الاختيار Selector Switch عند الوضع رقم 1 لمغير الجهد.
- مفتاح الفاكيوم Vacuum Switch يكون مغلقا.
- مفتاح التخطي يغير وضعه ويفتح النقطة B ويتصل بالنقطة A.

3- الشكل رقم 3 يوضح الآتي :

- مفتاح الاختيار عند الوضع رقم 1 لمغير الجهد.
- مفتاح التخطي يغير وضعه ويفتح النقطة B ويتصل بالنقطة A.
- مفتاح الفاكيوم يكون مفتوحا، وبالتالي يمر كل التيار في الفرع السفلي من مفتاح الاختيار، ولا يمر أي تيار في الفرع العلوي وبالتالي يكون جاهزا للحركة.

4- الشكل رقم 4 يوضح الآتي :

- يتم تحريك الفرع العلوي لمفتاح الاختيار الذي لا يمر به أي تيار إلى الوضع 2 مع استمرار وضع الفرع السفلي للمفتاح عند الوضع رقم 1 لمغير الجهد.
- مفتاح التخطي يستمر متصلا بالنقطة A ومفصول عن النقطة B.
- مفتاح الفاكيوم يكون مفتوحا، وبالتالي يمر كل التيار في الفرع السفلي من مفتاح الاختيار ولا يمر أي تيار في الفرع العلوي.

5- الشكل رقم 5 يوضح الآتي :

- يكون الفرع العلوي لمفتاح الاختيار متصلا بالنقطة 2 لمغير الجهد، ويكون الفرع السفلي للمفتاح متصلا بالنقطة رقم 1 لمغير الجهد.
- مفتاح التخطي يستمر متصلا بالنقطة A ومفصولا عن النقطة B.
- يتم غلق مفتاح الفاكيوم وبالتالي يمر نصف التيار في الفرع السفلي من

مفتاح الاختيار ويمر النصف الآخر للتيار في الفرع العلوي.

6- الشكل رقم 6 يوضح الآتي :

- يكون الفرع العلوي لمفتاح الاختيار متصلاً بالنقطة 2 لمغير الجهد ويكون الفرع السفلي للمفتاح متصلا بالنقطة رقم 1 لمغير الجهد.
- يتم تغير وضع مفتاح التخطي ليصبح متصلا بالنقطة B ومفصولا عن النقطة A.
- يستمر غلق مفتاح الفاكيوم، وبالتالي يمر نصف التيار في الفرع السفلي من مفتاح الاختيار و يمر النصف الأخر للتيار في الفرع العلوي.

7- الشكل رقم 7 يوضح الآتي :

- يكون الفرع العلوي لمفتاح الاختيار متصلاً بالنقطة 2 لمغير الجهد ويكون الفرع السفلي للمفتاح متصلا بالنقطة رقم 1 لمغير الجهد.
- يتم تغير وضع مفتاح التخطي ليصبح متصلا بالنقطة B ومفصولا عن النقطة A.
- يتم فتح مفتاح الفاكيوم. وبالتالي يمر كل التيار في الفرع العلوي من مفتاح الإختيار.

8- الشكل رقم 8 يوضح الآتي :

- يستمر وضع مفتاح التخطي متصلا بالنقطة B ومفصولاً عن النقطة A.
- يستمر فتح مفتاح الفاكيوم، وبالتالي يمر كل التيار في الفرع العلوي من مفتاح الإختيار.
- يتم تحريك الفرع السفلي لمفتاح الاختيار الذي لا يمر به تيار ليتصل بالنقطة 2 لمغير الجهد، وبالتالي يكون الفرع السفلي والفرع العلوي للمفتاح متصلا بالنقطة رقم 2 لمغير الجهد.

9- الشكل رقم 9 يوضح الآتي :

- يستمر وضع مفتاح التخطي متصلا بالنقطة B ومفصول عن النقطة A.
- يتم غلق مفتاح الفاكيوم، وبالتالي يمر نصف التيار في الفرع العلوي من مفتاح الاختيار ويمر النصف الآخر للتيار في الفرع السفلي.

- يكون كلٌ من الفرع السفلي والفرع العلوي لمفتاح الاختيار متصلا بالنقطة 2 لمغير الجهد، أي أنه تم تغير وضع مغير الجهد دون انقطاع للتيار ودون حدوث أي شرارة.

10- الشكل رقم 10 يوضح الآتي:

- يتم تغيير وضع مفتاح التخطي Bypass Switch ليصبح متصلا بالنقطة B والنقطة A كما في الوضع الطبيعي.
- يستمر غلق مفتاح الفاكيوم، وبالتالي يمر نصف التيار في الفرع العلوي من مفتاح الاختيار ويمر النصف الآخر للتيار في الفرع السفلي.
- يكون كلٌ من الفرع السفلي والفرع العلوي لمفتاح الاختيار متصلا بالنقطة 2 لمغير، أي أنه تم تغير وضع مغير الجهد دون انقطاع للتيار ودون حدوث أي شرارة.

6 - عوازل الاختراق Bushings (البوشنج)

يتم توصيل أطراف الملفات الابتدائية الداخلية للمحول بجهد دخول الشبكة الكهربية Input Voltage وكذلك توصيل أطراف الملفات الثانوية الداخلية للمحول بالأحمال الخارجية Loads عن طريق أطراف التوصيل وهي تسمى عوازل الاختراق Bushings، حيث تقوم بعزل أطراف الملفات عن جسم المحول حتى يتم الربط بين الأطراف الداخلية للمحول (ملف ابتدائي وملف ثانوي) والأطراف الخارجية للشبكة الكهربية (مصدر الكهرباء والأحمال) بأمان حتى لا يحدث تلامس أطراف الملفات مع جسم المحول.

وحيث إن الجهد يؤثر على العزل، فإنه يتم توصيف الـ Bushing حسب قيمة جهد المحول وليس حسب قدرة المحول. فالعزل في الجانب الأعلى جهدا يكون أكبر بكثير من الجانب الأقل جهدا، لذلك يمكن التمييز بمجرد النظر بين الجانب الأعلى جهدا والجانب الأقل جهدا في المحول عن طريق حجم الـBushing الموجود في كل جانب وجسم عوازل الاختراق الخارجي مصنوع غالبا من السيراميك ويتميز بالتعاريج الموجودة عليه كما في الشكل (31)، وهذه التعاريج تعرف

بالـ Skirts والهدف منها هو جعل المسافة التي يقطعها تيار المتسرب leakage Current خلال سطح العازل أطول ما يمكن، وبالتالي تصبح المقاومة السطحية للتيار SurfaceResistance أكبر ما يمكن لتقليل هذه التيارات المتسربة.





الشكل (31)

ويتم استخدام جوانات حتى لا يتم تسريب الزيت من الخزان الرئيسي للمحول عن طريق الـ Bushing وهذه الجوانات تصنف حسب قدرة المحول وجهود المحول.

وهناك حروف وأرقام للإشارة إلى أطراف المحولات منها :

1- H1 ، H2 ، H3 لأطراف الجهد العالي، X1، X2، X3 لأطراف الجهد المنخفض.

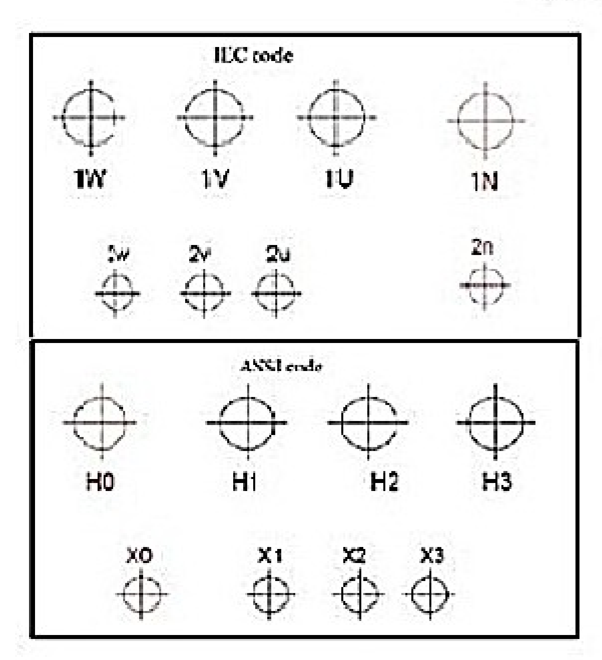
وذلك في المواصفة العالمية ANSI.

3- 1W ، 1V ، 1U لأطراف الجهد العالي2W ، 2V ، 2U لأطراف الجهد المنخفض.

وذلك في المواصفة العالمية IEC

وعند النظر إلى المحول من أعلى يظهر ترتيب الأطراف كالتالي :

في المواصفة IEC يكون طرف التعادل على اليمين في جهتي العالي والمنخفض أما في المواصفة ANSI يكون طرف التعادل على اليمين في جهتي العالي والمنخفض

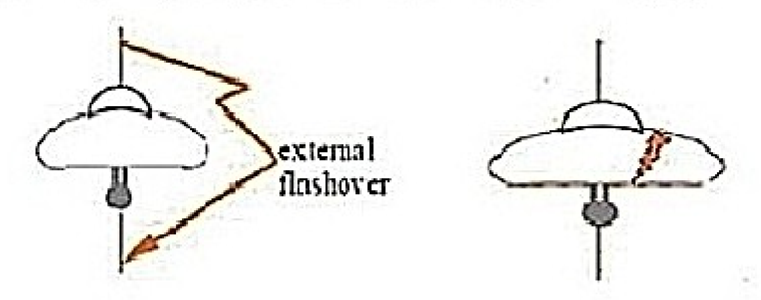


الشكل (32)

7- الفتحة الشرارية Rod Gap

في حالة المحولات التي تستخدم خارج المباني Out Door، فإن الجهود العابرة الزائدة Transient Voltage قد تسبب مشاكل كبيرة للعوازل المستخدمة في هذه المحولات، فعند زيادة الجهد عن قيمة معينة يحدث تفريغ Flash over حول العازل

ثم يحدث انهيار و تلف للعوازل كما في الشكل التالي أو أي مهمات في المحول.



الشكل (33)

ففي الشكل على الشمال يوضح حدوث تفريغ علي لعازل مما يتسبب في حدوث شروخ وغنهيار للعازل كما في الشكل على اليمين . لذلك تزود العوازل (البوشنج) بالفتحة الشرارية Rod Gap وذلك لحمايتها من الجهود العالية العابرة، حيث تتكون من طرفين أحدهما متصل بالجهد العالي والطرف الثاني متصل بجسم المحول المتصل بالأرض، فعند زيادة الجهد نتيجة البرق أو الصواعق ينهار عزل الهواء في هذه الفجوة، ويصبح موصلا، ويتم تسريب الشحنات الزائدة إلى الأرض عن طريق جسم المحول المؤرض كما بالشكل (34).

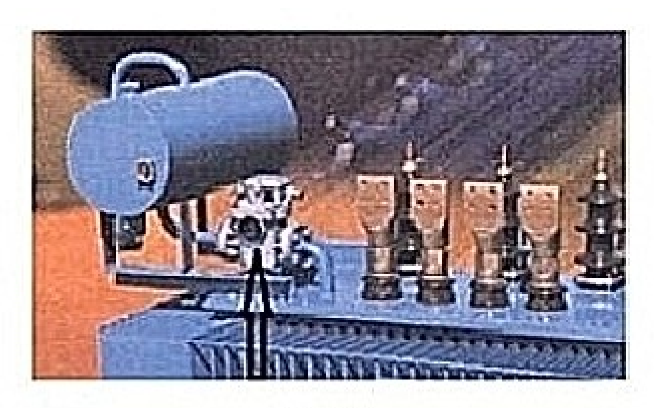


الشكل (34)

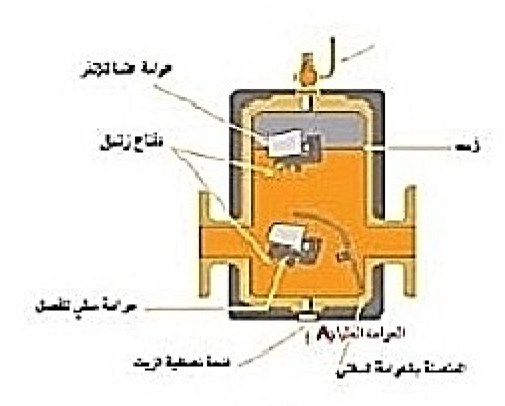
8- البوخهلز ريلاي Buchhlez Relay

هو جهاز منفصل عن جسم المحول، وهو عبارة عن وعاء معدني متصل بأنبوب بطرف الخزان الاحتياطي وأنبوب آخر بالمحول، كما بالشكل (35)، ويستخدم دائما في المحولات المزودة بخزان احتياطي، ويتم تركيبه في مسار الزيت من المحول إلى الخزان الإضافي ،ويوجد به عوامتينA علياً وB سفلي تطفوان على سطح الزيت عندما يكون الوعاء ممتلئ بالزيت، انظر الشكل (36). وكل عوامة تتحرك حول محور وتتحكم في نقط تلامس زئبقية. وتكون نقاط التلامس مفتوحة طالما كانت العوامة طافية. والعوامة الأولى موجودة في قمة الوعاء والأخرى بالقرب من قاع الوعاء. وتعمل العوامة الأولى على توصيل دائرة إنذار بينما تعمل العوامة الثانية على توصيل دائرة فصل للمحول ، وكذلك توجد ريشة متصلة بالعوامة السفلى والجهاز به سهم يكون اتجاهه دائما ناحية الخزان الاحتياطي (تراعى هذه الملاحظة عند تركيب الجهاز على المحول).

فأغلب الأعطال داخل المحولات المعزولة بالزيت ينتج عنها غازات، فيكون جهاز البوخهلز مملوءا بالزيت، بحيث عند حدوث عطل داخلي فإن الغازات الناتجة تتجمع داخل الجهاز مما يؤدي إلى انخفاض مستوى الزيت داخله.



الشكل (35)



الشكل (36)

العوامة العليا (A)

ففي حالة التشغيل العادي (عدم حدوث أي أعطال) فإن كمية الغازات المتصاعدة من تحلل زيت المحول تكون قليلة جدا وبذلك يستمر المحول بالعمل وعندما تتكون كميات كبيرة من الغازات في المحول نتيجة تحلل الزيت أو تحلل مكونات المحول (ورق أو عزل أو خشب أو ......).

فإن هذه الغازات لخفتها تبدء بالتصاعد و تتجمع تلك الغازات في الخزان الرئيسي وعندما يمتلئ الخزان تبدء تلك الغازات في الوصول إلى وعاء البوخهلز ريلاي تدريجيا مع الزمن وتتجمع في الجزء العلوي من الجهاز وتضغط هذه الغازات على الزيت وتجعله يهرب إلى التانك الاحتياطي وعندما يفرغ الجزء العلوي من الجهاز من الزيت فإن العوامة العلوية تسقط بوزنها مسببة تلامس النقطتين 1 و 2 لتعطي إنذارا.

وكذلك إذا حدث تسرب بسيط للزيت فإن الجزء العلوي من البوخهلز يفرغ أيضا مؤديا إلى غلق النقطتين 1 و 2 ليعطي نفس الإنذار

وعموما يعمل الجهاز ويعطي إنذارا في الحالات التالية:

1- عند تكون بقعة ساخنة داخل المحول نتيجة لوجود قصر بين شرائح القلب الحديدي.

2- عند انهيار عزل المسامير التي تثبت القلب الحديدي.

3- عند فتح أي من نقط التلامس للموصلات.

4- زيادة التحميل للمحول.

5- عند انخفاض مستوى الزيت لوجود تسرب.

العوامة السفلي (B)

وإذا حدث تسريب كبير للزيت فإن العوامة السفلي تسقط بفعل الجاذبية وتعمل على غلق الملامس 3 و 4 لتعطي فصلا للمحول.

وكذلك عند حدوث خطأ داخلي في المحول Short Circuit فسوف يسبب ذلك ارتفاع درجة حرارة الزيت فيتحلل الزيت وتخرج الغازات وتدفع الزيت أمامها في موجات عنيفة متتالية وتتجه إلى أعلى حيث تصطدم بالريشة المتصلة بالعوامة السفلي وتعمل على غلق الملامس 3 و 4 لتعطي فصل للمحول.

9- أنبوب الإنفلات Pressure relief vent or Explosion vent

عند حدوث قصر داخلي في الملفات تزداد درجة الحرارة وبالتالي يتمدد الزيت وتتولد غازات بصورة كثيفة ويتسبب ذلك في زيادة الضغط داخل المحول لدرجة قد تؤدي إلى حدوث انفجار. لذلك يوضع جهاز تخفيف الضغط. والجهاز عبارة عن أنبوبة (رقم 6 في الشكل 37) تغلق فتحتها بواسطة شريحة زجاجية (غشاء) أو قرص سهل الكسر عند قيم معينة من الضغط يركب على فتحة أعلى المحول فإذا زاد الضغط تمزق الغشاء وتكسر وتخرج الغازات والزيت الزائد إلى الجو الخارجي وبالتالي يتم حماية الخزان الرئيسي من الانفجار، ومن عيوب ذلك النظام أنه عندما يفتح يظل مفتوحا ويعرض زيت المحول للهواء والرطوبة.





الشكل (37)

10- باك تنفيس الضغط Pressure Relief Valve

وهو جهاز يقوم بنفس وظيفة أنبوب الانفلات، ولكن يختلف عنها في التركيب وطريقة العمل، انظر الشكل (38). فهو عبارة عن:

1- غطاء يقوم بالضغط على سوستة Spring.

2- تقوم السوستة بالضغط على قرص Disc.

3- يعمل القرص على غلق فتحة في أعلى المحول بضغط معين.

4- عند زيادة ضغط الزيت داخل المحول عن ضغط التشغيل فإن قوة ضغط الزيت تتغلب على قوة ضغط السوستة وبالتالي يتم تحريك القرص إلى أعلى فيتم تصريف الزيت والغازات المتكونة.

5- عندما يقل ضغط الزيت داخل المحول فإن قوة ضغط السوستة تتغلب على قوة ضغط الزيت وبالتالي تقوم السوستة بالضغط على القرص ويتم غلق الفتحة بإحكام.

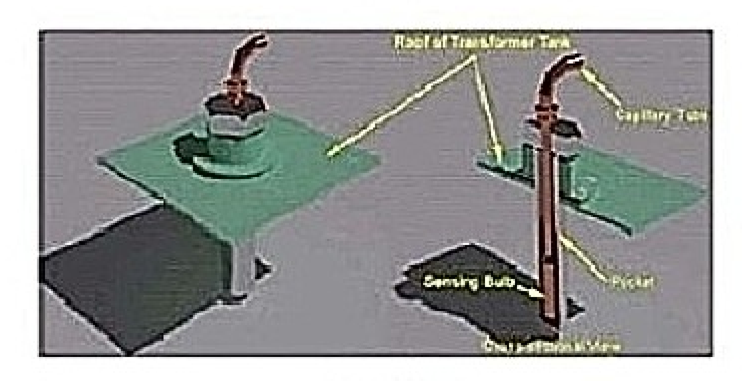
أي أنه عند زيادة الضغط داخل المحول يفتح ويقوم بتصريف الزيت والغازات المتكونة وإذا انخفض الضغط قفل ثانية وبذلك يمنع تعرض الزيت للهواء والرطوبة.



الشكل (38)

11- مؤشر قياس درجة حرارة الزيت

نتيجة لتناقص الكثافة مع ارتفاع درجة الحرارة بحدوث تيارات الحمل فإن الجزء العلوي الأوسط من أسفل سطح المحول من الداخل يكون أعلى درجة حرارة من أي جزء آخر ملامس لتانك المحول، لذلك يمكن تركيب جهاز ترمو متر أسفل سطح المحول ليعطي قراءة درجة حرارة الزيت مباشرة. حيث توضع رأس الاستشعار داخل جيب أو جراب محاط بزيت المحول فيتمدد السائل داخل الأنابيب الشعرية ويتحول هذا التمدد إلى حركة تجعل محورا خاصا يتحرك ليعطي قراءة تدل على درجة حرارة الزيت مباشرة.



الشكل (36)

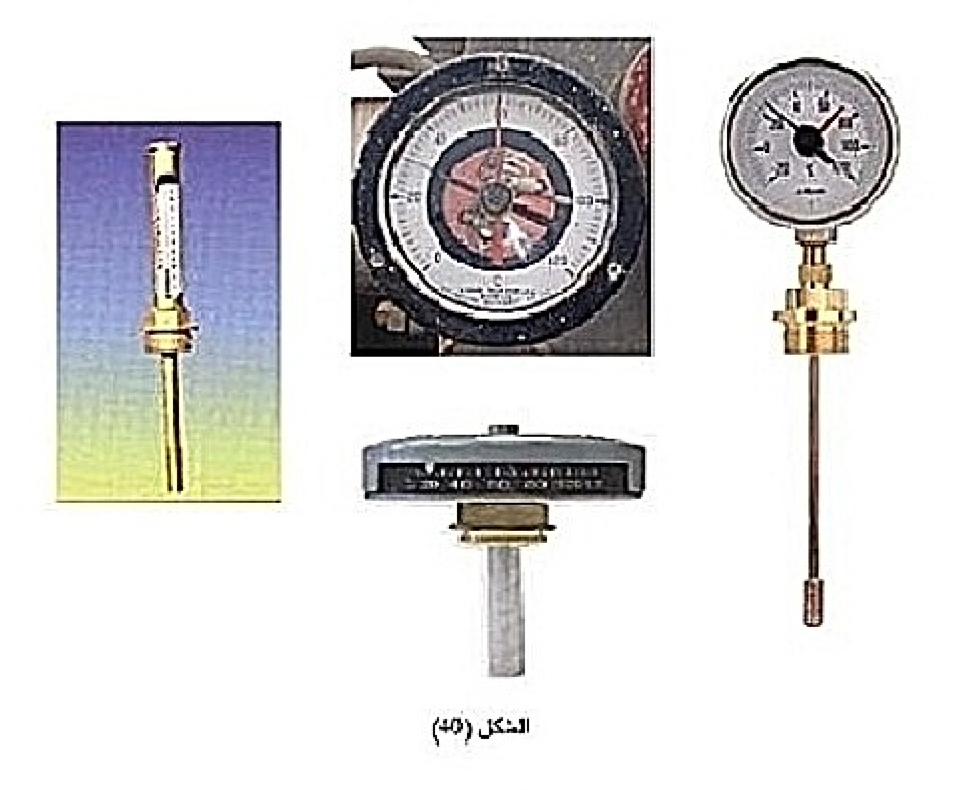
ويوجد أنواع كثيرة من عداد قياس درجة حرارة الزيت، انظر الشكل (36)، منها :

1- عداد به مؤشر واحد يبين درجة حرارة الزيت.

2- عداد به عدد 2 مؤشر.

أ- المؤشر الأول يكون لونه أسود وهو يبين درجة حرارة الزيت فيرتفع المؤشر عند زيادة درجة الحرارة وينخفض عند نقص درجة الحرارة.

ب- والثاني يكون لونه أحمر وهو يبين أقصى درجة حرارة وهو يرتفع مع ارتفاع درجة حرارة الزيت ولكن لا ينخفض مع نقص درجة حرارة الزيت، وبالتالي فهو يبين أقصى درجة حرارة وصل لها المحول.



الشكل (40)

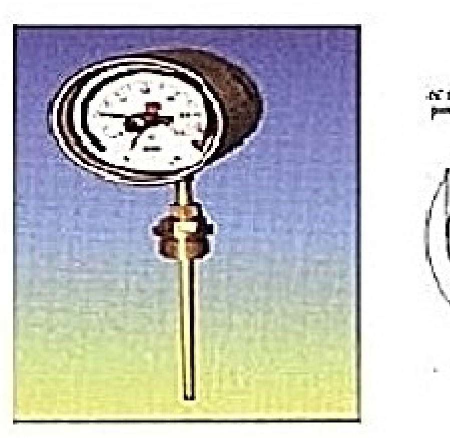
فمثلاً في البداية يكون المؤشر الأسود عند درجة حرارة الزيت الفعلية مثلا (40 درجة مئوية) والمؤشر الأسود يكون عند أي درجة حرارة مثلا (50 درجة مئوية)، فإذا زادت درجة حرارة الزيت ووصلت إلى (80 درجة مئوية) فإن المؤشر الأسود سوف يرتفع ويرفع معه المؤشر الأحمر إلى نفس درجة الحرارة (80 درجة مئوية) وعند انخفاض درجة الحرارة نتيجة لظروف التشغيل فإن المؤشر الأسود ينخفض وثبت المؤشر الأحمر في مكانه ولا ينزل ليوضح أن أقصى درجة حرارة وصل لها المحول هي (80 درجة مئوية).

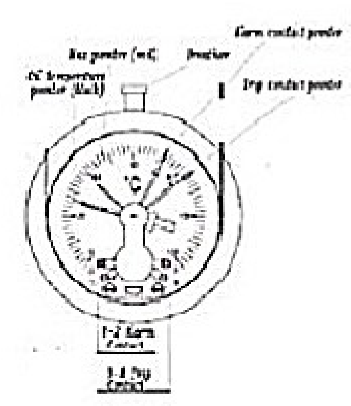
ت- عداد به أربع مؤشرات بالشكل (41):

- المؤشر الأول يكون لونه أسود وهو يوضح درجة حرارة الزيت فيرتفع المؤشر عند زيادة درجة الحرارة وينخفض عند نقص درجة الحرارة.
- المؤشرالثاني يكون لونه أحمر وهو يوضح أقصى درجة حرارة وهو

يرتفع مع ارتفاع درجة حرارة الزيت ولكن لا ينخفض مع نقص درجة حرارة الزيت، وبالتالي فهو يوضح أقصى درجة حرارة وصل لها المحول.

- المؤشر الثالث يقوم بتحريك مفتاح زئبقي يعطي إنذارا عندما تصل درجة حرارة الزيت إلى قيمةٌ معينةٌ تختلف من محول إلى آخر حسب ظروف تشغيل كل محول ولتكن 85 درجة مئوية.
- المؤشر الرابع يقوم بتحريك مفتاح زئبقي يفصل المحول عندما تصل درجة حرارة الزيت إلى 95 درجة مئوية (أعلى من درجة حرارة الإنذار بحوالي 10 درجات).





الشكل (41)

ث- عداد به ستة مؤشرات:

1- المؤشر الأول يكون لونه أسود وهو يوضح درجة حرارة الزيت

2- المؤشر الثاني يكون لونه أحمر وهو يوضح أقصى درجة حرارة وصل لها المحول.

3- المؤشر الخامس يقوم بتحريك مفتاح زئبقي لتشغيل المرحلة الأولى من مراوح التبريد عندما تصل درجة حرارة الزيت إلى قيمة معينة تختلف من محول إلى آخر حسب ظروف تشغيل كل محول ولتكن 60درجة مئوية.

4- المؤشر السادس يقوم بتحريك مفتاح زئبقي لتشغيل المرحلة الثانية من مراوح التبريد عندما تصل درجة الحرارة إلى 70 درجة مئوية (أعلى من درجة حرارة تشغيل المرحلة الأولى بحوالي 10 درجات).

5- المؤشر الثالث يقوم بتحريك مفتاح زئبقي يعطي إنذارا عندما تصل درجة حرارة الزيت إلى قيمة معينة ولتكن 85 درجة مئوية

6- المؤشر الرابع يقوم بتحريك مفتاح زئبقي يفصل المحول عندما تصل درجة حرارة الزيت إلى 95 درجة مئوية

12- مؤشر قياس درجة حرارة الملفات

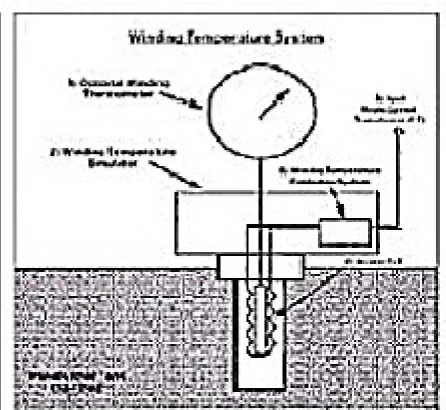
تعتبر الملفات والقلب الحديدي معا كمولد حراري Heat generator تزيد طاقته الناتجة أو تنقص تبعا لزيادة الأحمال أو نقصها، وإذا زاد معدل تولد الحرارة عن معدل تسربها فإن درجة حرارة الملفات والزيت وجميع المواد العازلة سوف تظل في ارتفاع مستمرالأمر الذي يؤدي إلى احتراق المواد العازلة أو تحمصها كما أن درجة الحرارة العالية قد تحلل الزيت أو تسبب تخمر للوصلات النحاسية بالإضافة إلى أن مقدار مقاومة العزل للزيت والملفات تتناقص مع ارتفاع درجة الحرارة.

و نظرا لاختلاف طبيعة الزيت عن النحاس في الاستجابة للمؤثرات الحرارية، حيث يتأثر الزيت ببطء أي يسخن ببطء ويبرد ببطء بينما يتأثر النحاس سريعا بتغير درجة الحرارة، فلا يستدل بدقة عن الحالة الحرارية لأحدهما عن طريق الآخر لذلك يتم استخدام جهاز خاص بقياس درجة حرارة الملفات فهو مثل الجهاز السابق إلا إن الانتفاخ يتأثر بحرارة الزيت بالإضافة إلى الحرارة الناتجة من ملف تسخين Heating coil يلف حول الجيب أو الجراب Pocket الذي توضع فيه رأس الاستشعار Bulb ويتم تغذية هذا الملف عن طريق ملف ثانوي لمحول تيار Current transformer يتم تركيبة على أحد فازات المحول وبالتالي فإن التيار الذي يمر بملف التسخين يتناسب مباشرة مع التيار الذي يمر بملفات

المحول، وبذلك تكون الحرارة المؤثرة ليست حرارة الزيت وحدها وإنما حرارة الزيت والملفات.

فالشكل التالي يوضح أن رأس الاستشعار توضع داخ جيب (جراب) محاط بزيت المحول ويلف حولها ملف التسخين Heater coil، وهذا الملف يأخذ تياره من محول تيار Current transformer مركب على أحد أوجه المحول مارا بنظام **معايرة درجة حرارة الملفات** Winding temperature calibration System، **وبالتالي** فإن رأس الاستشعار سوف تتأثر بدرجتي حرارة كل من الزيت والملفات في نفس الوقت مما يؤدي إلى زيادة في حركة المؤشر معطيا زيادة في ارتفاع درجة حرارة الملفات، ويمكن ملاحظة أن جهاز قياس درجة حرارة الملفات أعلى في حدود 5 درجات مئوية من جهاز قياس درجة حرارة الزيت.





الشكل (42)

13- قاعدة تثبيت المحول والعجلات Skid base and bidirectional rollers

يتم تثبيت التانك الرئيسي وباقي مكونات المحول على كمر حرف U ويتم تثبيت أربعة عجلات لسهولة تحريك المحول.



الشكل (43)

14- وسيلة الرفع Lifting Lugs and Jaking pads

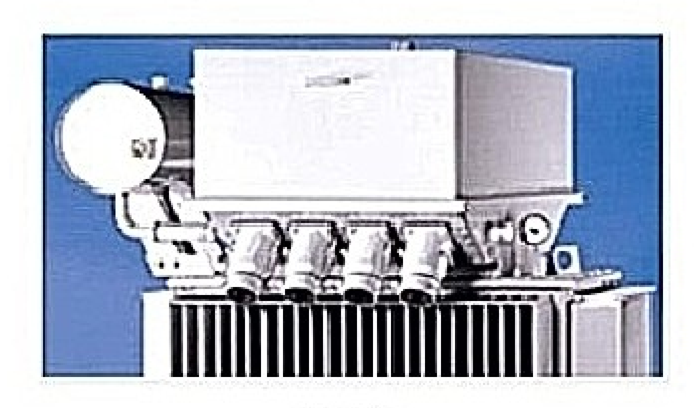
ويتم لحام خطاطيف في الجزء العلوي من الخزان رفعة من خلالها عند الحاجة.

15- بلف عينة الزيت Oil sampling valve

مو بلف يوضع في أسفل الحول يساعد على أخذ عينات الزيت.

16- صندوق التوصيل Terminal end box

وهو من الممكن أن يكون صندوق واحد به أطراف الجهد العالي وأطراف الجهد المنخفض ويمكن أن يكون لكل ناحية صندوق منفصل، ويكون محكم الغلق ومؤمنا ضد تلامس الأجزاء الحية Live parts ومؤمن أيضا ضد دخول الماء والأتربة.



الشكل (44)

17- جهاز (Detection Gas Pressure Temperature (DGPT

هذا الجهاز يتم إستخدامة في المحولات المغلقة والتي لا تحتوي على خزان إحتياطي وهو يقوم بحماية المحول من الآتي :

– زيادة ضغط الزيت Oil pressure فيتم ضبط قيمة الضغط عند قيمة معينه وعندما يزيد ضغط الزيت عن هه القيمة يتم تغير وضع نقطة مساعدة يتم إستخدامها في دائرة التحكم لتعطي إنار أو فصل للمحى

– درجة حرارة الزيت Oil temperature فعندما تزيد درجة حرارة الزيت إلى قيمة معينة يتم تغيير وضع نقطة مساعدة لتعطى إنذار وعندما تستمر الزيادة في درجة الحرارة إلى قيمة أعلى يتم تغيير نقطة مساعدة أخرى لفصل المحول

– مستوي الزيت Oil level فعندما ينقص مستوى الزيت تنزل العوامة إلى الوضع Min ويتم تغير وضع نقطة مساعدة يتم إستخدامها في دائرة التحكم لتعطي إنار أو فصل للمحول

– الغازات المجمعة Gas detection فعندما تتجمع الغازات تضغط على العوامة إلى الوضع Min ويتم تغير وضع نقطة مساعدة يتم إستخدامها في دائرة التحكم لتعطي إنار أو فصل للمحول



الشكل (45)

الباب الثاني

أنواع المحولات

الفصل الأول

تصنيف المحولات

يمكن تصنيف المحولات كالآتي :-

1- من حيث الوظيفة (محول رفع Step Up – محول خفض Step Down).

2- من حيث النوع (محول قدرة Power Transformer – محول توزيع Distribution Tr).

3- من حيث عدد الأوجه (محول وجه واحد Single Phase– محول ثلاثة أوجه Three Phase).

4- من حيث نوع القلب الحديدي (core type – shell type).

5- من حيث تقسيم الملفات (نجمة Star أو دلتا Delta).

6- من حيث التبريد (محول زيتي Oil Type – محول جف Dry Type).

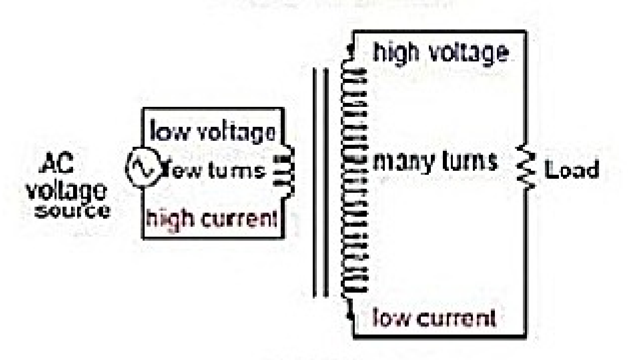
7- محولات القياس (محولات الجهد Voltage Transformer– محولات التيار Current Tr).

8- محولات خاصة

أولا : المحولات من حيث الوظيفة

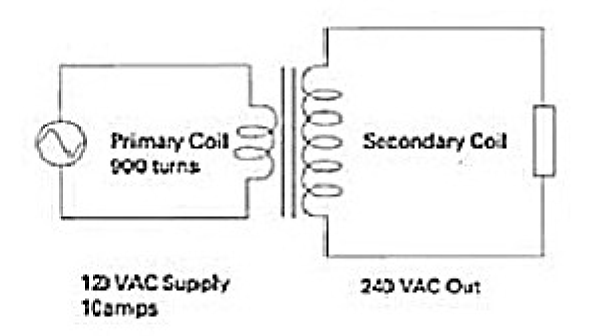
1- محول رافع Step Up Transformer

هو محول يقوم برفع الجهد وخفض التيار وتكون القدرة ثابتة، ويكون فيه عدد لفات الملف الثانوي أكبر من عدد لفات الملف الابتدائي ويوصل الجهد المنخفض (جهد المصدر) على الملف الابتدائي ويكون جهد الخروج متصلا على الملف الثانوي وغالبا ما يستخدم هذا النوع في محطات التوليد، فمثلا في محطة السد العالي يكون جهد التوليد 20 كيلوفولت، لذلك يتم استخدام محولات الرفع لرفع الجهد حتى 500 كيلوفولت وهو جهد الشبكة الموحدة.



الشكل (46)

فمثلا إذا كان لدينا محول رافع وكان جهد المصدر 120 فولت (120 V) وعدد لفات الملف الابتدائي 900 لفة (900 turns) وكان التيار المسحوب من المحول هو 10 أمبير(10A)، ومطلوب رفع الجهد إلى 240 فولت (240V)



الشكل (47)

فعن طريق تطبيق العلاقة التالية الخاصة بالمحولات :

$$E1 / E2 = N1 / N2 = 120 / 240 = 900 / N2$$

نجد أنه لابد أن يكون عدد لفات الملف الثانوي N2 هو 1800 لفة لكي يتم الحصول على الجهد المطلوب وهو 240 فولت

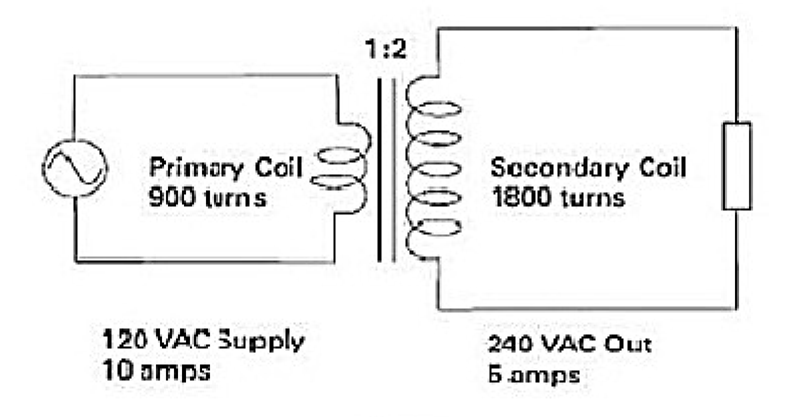
هناك معامل آخر سوف يتغير في المحول وهو التيار ، فحيث إن المحول لا يغير من قدرة الدائرة أي أن القدرة في الملف الابتداني تساوي القدرة في الملف الثانوي فإذا تم رفع الجهد فإن التيار سوف ينخفض فإذا كان التيار في الملف الابتدائي 10 أمبير فعن طريق تطبيق العلاقة التالية الخاصة بالمحولات :

$$E1 / E2 = N1 / N2 = I2 / I1$$

نجد أن التيار في الملف الثانوي سوف يصبح 5 أمبير

مما سبق نستنتج أنه لابد أن يكون مساحة مقطع السلك Cross Section area في الملف الابتدائي تكون أكبر من مساحة مقطع السلك في الملف الثانوي وذلك لأن التيار في الملف الابتدائي أكبر من التيار في الملف الثانوي، كما نستنتج أنه لابد أن تكون كمية العزل Instlation في الملف الثانوي أكبر من كمية العزل في الملف الابتدائي وذلك لأن الجهد في الملف الثانوي أكبر من الجهد في الملف الابتدائي، وهذا ما توضحه القاعدة التالية:

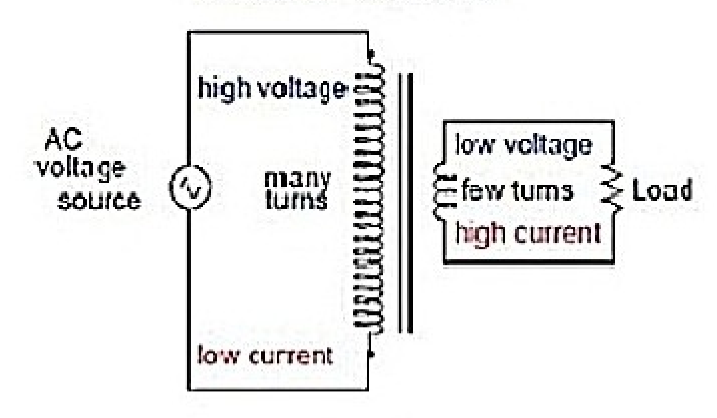
الجهد يكون تاثيرة على العزل والتيار يكون تاثير ة على الموصل



الشكل (٤٨)

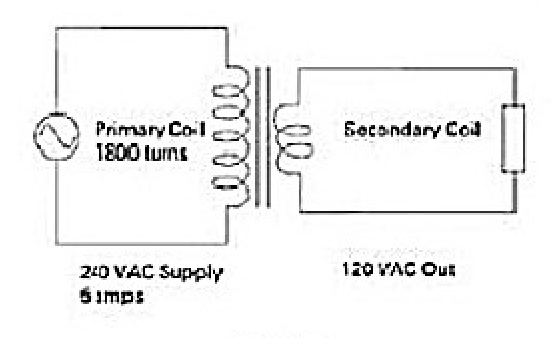
2- محول خافض Step Down Transformer

هو محول يقوم بخفض الجهد ورفع التيار ويكون فيه عدد لفات الملف الابتدائي أكبر من عدد لفات الملف الثانوي، ويوصل الجهد العالي (جهد المصدر) على الملف الابتدائي ويكون جهد الخروج (الجهد المنخفض) على الملف الثانوي وغالبا ما يستخدم هذا النوع في محطات التوزيع حيث يتم خفض الجهد.



الشكل (49)

فمثلا إذا كان لدينا محول خافض وكان جهد المصدر 240 فولت وعدد لفات الملف الابتدائي 1800 لفة وكان التيار المسحوب من المحول هو 5 أمبير، ومطلوب خفض الجهد إلى 120 فولت .



الشكل (50)

ففي الشكل (50) نجد أن جهد المصدر 240 فولت وعدد لفات الملف الابتدائي هو 1800 لفة ، فإذا كان المطلوب هو خفض الجهد من 240 فولت إلى 120 فولت فعن طريق تطبيق العلاقة التالية الخاصة بالمحولات :

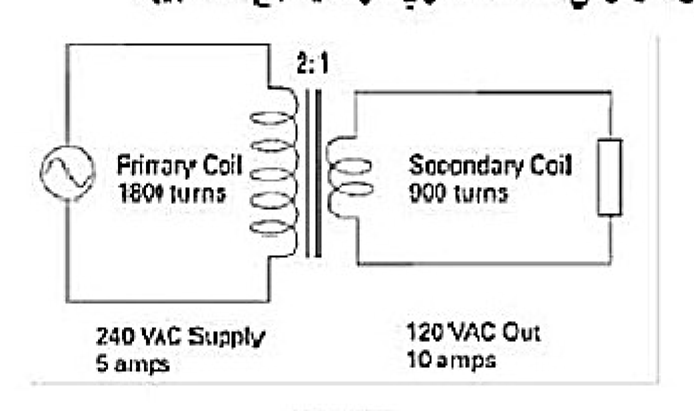
$$E1 / E2 = N1 / N2 = 240 / 120 = 1800 / N2$$

نجد أنه لابد أن يكون عدد لفات الملف الثانوي N2 هو 900 لفة لكي يتم الحصول على الجهد المطلوب وهو 120 فولت .

وإذا تم خفض الجهد فإن التيار سوف يرتفع فإذا كان التيار في الملف الابتدائي 5 أمبير فعن طريق تطبيق العلاقة التالية الخاصة بالمحولات :

$$E1 / E2 = N1 / N2 = I2 / I1$$

نجد أن التيار في الملف الثانوي سوف يصبح 10 أمبير .



الشكل (51)

ثانيا : المحولات من حيث النوع

1- محولات القدرة Power Transformers

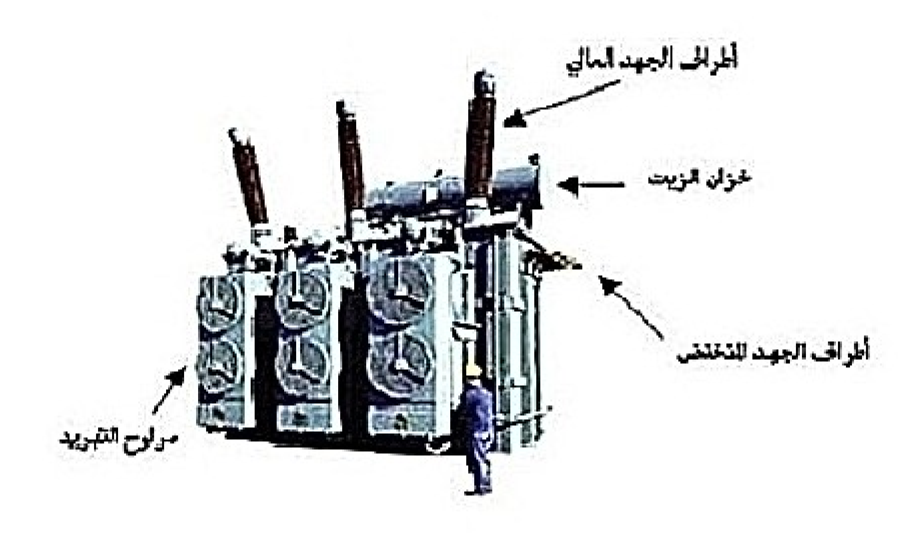
هي المحولات التي تكون في محطات التوليد ومحطات النقل (غالبا تكون محولات رفع) حيث يتم رفع جهد التوليد إلى الجهد المطلوب للنقل وتكون لها المواصفات التالية :

أ- القدرة غالبا ما تكون أكبر من 1000 ك.ف.أ.

ب- غالبا ما تكون من النوع المغمور في الزيت.

ت- معامل التنظيم يكون كبير مقارنة بمحولات التوزيع.

ث-الحمل يكون منتظم معظم الوقت.



الشكل (52)

2- محولات التوزيع Distribution Transformers:

هي المحولات التي تستخدم لتخفيض الجهد إلى مستوى آمن للاستخدام فهو آخر محول يربط المستهلك بالشبكة وتكون لها المواصفات التالية :

أ- القدرة غالبا ما تكون أقل من 1000 ك.ف.أ .

ب- تكون محولات جافة أو زيتية.

ت- يمكن أن تكون داخل أكشاك معدنية أو تكون محمولة على الاعمدة

ث- الحمل يتغير بصورة كبيرة خلال اليوم الواحد وخلال فصول السنة لذلك يتم استخدام مغير الجهد ومن الممكن أن يعمل لمدة كبيرة بدون حمل لذا يراعى عند التصميم أن تكون مفاقيد اللاحمل في محول التوزيع أقل ما يمكن.

ج- نتيجة لتغير الحمل يتطلب أن يكون معامل التنظيم صغير.

ثالثا : المحولات من حيث عدد الأوجه

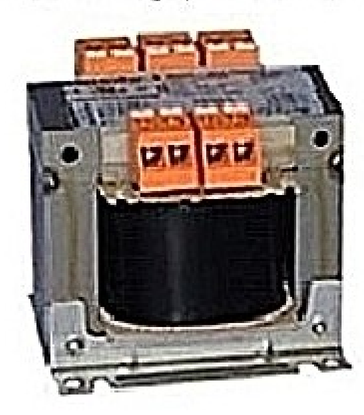
1- محولات وجه واحد Single Phase

أ- يستخدم في الدوائر أحادية الوجه Single Phase system .

ب- يتكون من ملف واحد ابتدائي وملف واحد ثانوي وكل ملف له طرفان.

ت- يكون إما محول رافع Step UP أو محول خافض Step Down .

ث- غالبا ما يستخدم في الأغراض السكنية Resident ial والتجارية Commercial.





الشكل (53)

2- محولات ثلاثة الأوجه Three Phase Transformers

هناك طريقتان لتكوين المحول الثلاثي هما :

1- محول ثلاثي الأوجه يتكون من ثلاث ملفات على قلب حديدي واحد (Shell or Core type).

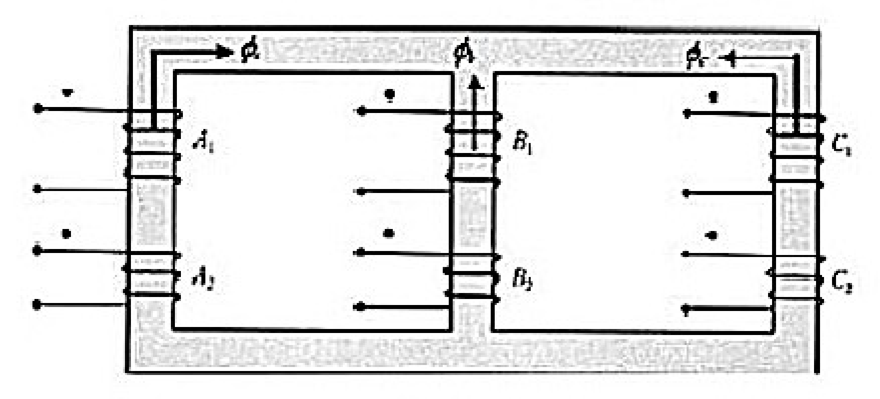
وهو يتميز بالآتي :

أ- وزنه خفيف.

ب- حجمة صغير.

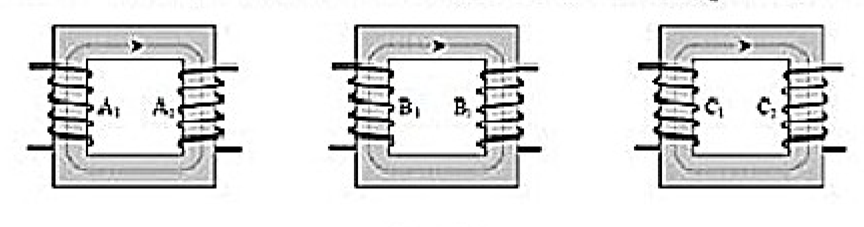
ت- أرخص في السعر.

ث- يتميز بالكفاءة العالية.



الشكل (54)

2- محول ثلاثي من ثلاث محولات أحادية Bank of Three Single Phase Transformer



الشكل (55)



الشكل (56)

في هذا النوع يجب أن تكون قدرة كل محول أحادي الوجه لا تقل عن ثلث (1/3) قدرة المحول الثلاثي المطلوب.

وهناك ميزة لهذا النوع هو عدم فقد كل الأحمال عند تلف أحد المحولات، وسهولة استبدال أي محول يتلف.

أ- يستخدم في الدوائر ثلاثية الوجه والدوائر الأحادية الوجه

ب- كل دائرة تتكون من ثلاث ملفات، فدائرة الابتدائي تتكون من ثلاث ملفات (ملف لكل فاز) ودائرة الثانوي تتكون من ثلاث ملفات.

ت- يكون إما محول رافع Step UP أو محول خافض Step Down .

ث- يستخدم في شبكات التوزيع ومحطات التوليد.

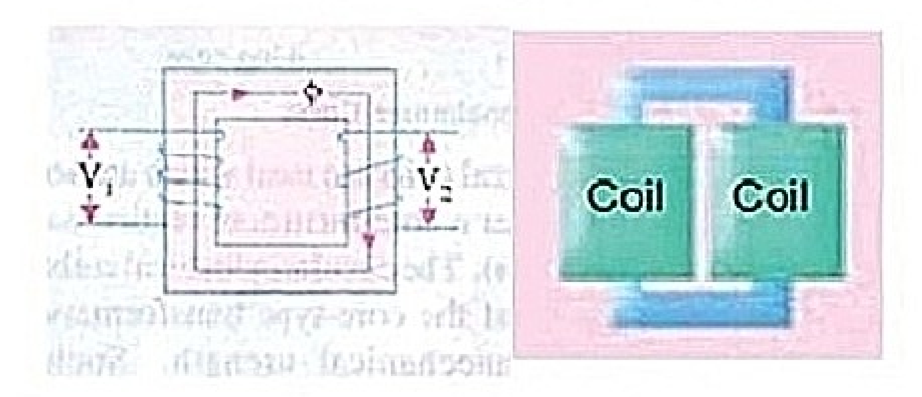
ج- ممكن أن يكون أحد المحولات أعلى في القدرة عند عدم الاتزان في الأحمال.

ح- في حالة وجود عيب في أحد المحولات، فإنه يتم استبدال محول واحد فقط، وبالتالي يمكن الحفاظ على بعض أنواع الأحمال. أما في حالة المحول الثلاثي يتم رفع كل المحول للإصلاح أو الاستبدال.

رابعا : المحولات من حيث نوع القلب الحديدي

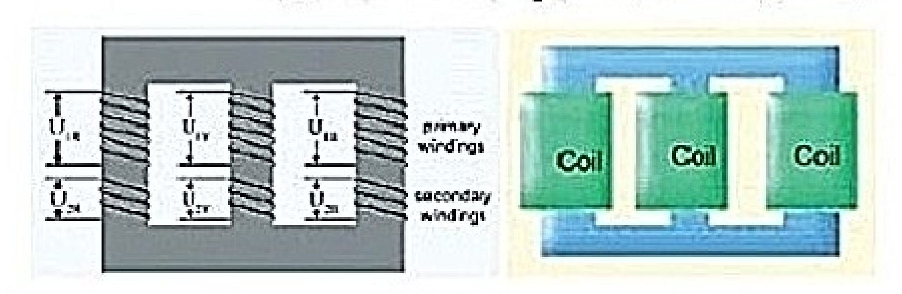
1- محولات ذات قلب حديدي Core Type

أ- محولات ذات قلب حديدي Core Type أحادية الوجه



الشكل (57)

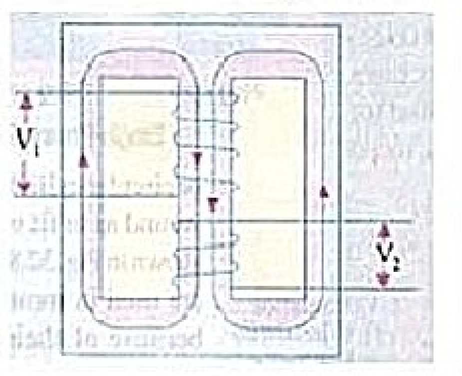
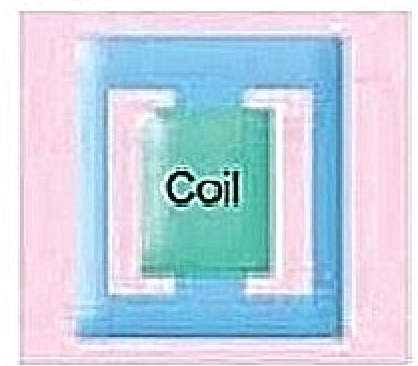
ب- محولات ذات قلب حديدي Core Type ثلاثية الوجه.



الشكل (58)

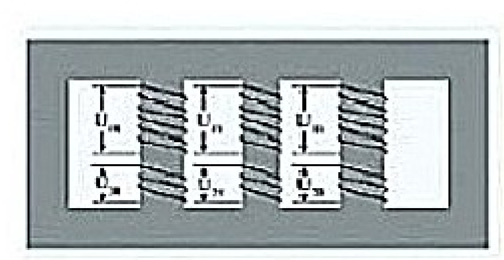
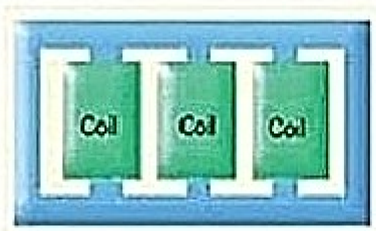
2- محولات ذات قلب حديدي Shell Type

أ- محولات ذات قلب حديدي Shell Type أحادية الوجه

الشكل (59)

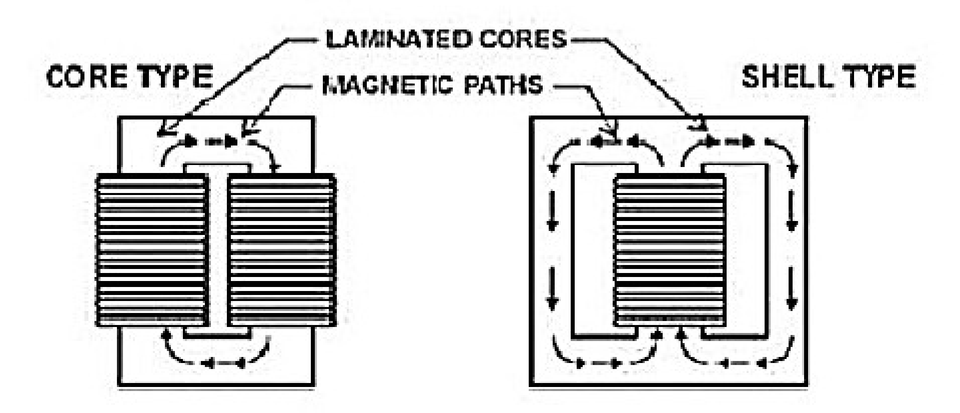
ب- محولات ذات قلب حديدي Shell Type ثلاثية الوجه

الشكل (60)

والنوع الاول Core Type يكثر استخدامه في المحولات ذات القدرات الصغيرة، حيث إن مسار الفيض المغناطيسي يكون من مسار Loop واحد يربط الملفين الابتدائي والثانوي معاً.

والنوع الثاني Shell Type يتم استخدامه في المحولات التي تزيد قدرتها عن 50 ميجا فولت أمبير، ويكون المسار المغناطيسي في هذه الحالة مكونا من دائرتين Two Loops.



الشكل (61)

تأريض القلب الحديدي

جميع الأجزاء المعدنية في المحول سواء الداخلية أو لخارجية يجب أن يتم تأريضها بشكل مضمون، وكذلك القلب الحديدي يجب تأريضه أيضا. فعند دخول المحول في الخدمة يقع القلب وغيره من الأجزاء المعدنية في مجال كهربي شديد ينشأ بين الملفات. فتتكهرب هذه الأجزاء المعدنية الواقعة في هذا المجال، ولكي نتجنب هذه الظاهرة غير المرغوب فيها يجب تأريض القلب الحديدي والخزان.

ولتأريض القلب فوائد منها :

1- دائما يكون جهد القلب هو جهد الأرض.

2- تسريب الشحنات الإستاتيكية.

3- منع الجهد على القلب من الزيادة.

4- يمكن عمل حماية عند حدوث قصر بين القلب والملفات.

ويجب التأكيد على أن القلب الحديدي مؤرض عند نقطة واحدة، فلو كان مؤرضا عند أكثر من نقطة من الممكن أن يمر تيار دوار Circulating current يعمل على زيادة حرارة المحول وكذلك يعمل على زيادة صوت المحول على الرغم

من الشرائح Laminations معزولة عن بعضها البعض للحد من التيار الدوامي Eddy current إلا أن مقاومة العزل تكون قليلة لتكون كافية لتأريض القلب الحديدي بشكل فعال عند توصيل الأرض مع شريحة واحدة من القلب ودائما يكون التوصيل أعلى المحول (بين القلب الحديدي وغطاء الخزان الرئيسي).

خامسا : المحولات من حيث تقسيم الملفات

محولات لها أكثر من ملف :

يقصد بالمحولات التي لها أكثر من ملف هي المحولات التي يكون كل وجه في الابتدائي له ملف وكل وجه في ناحية الثانوي له ملف منفصل ويكون التوصيل فيها على شكل نجمه أو دلتا وتوجد توصيلات مختلفة للمحولات ثلاثية الأطوار ومن هذه التوصيلات :

1- توصيل (ستار - ستار) Y - Y Connection

من المعروف أنه في توصيلة ستار Wye Connection أن جهد الخط يساوي ($\sqrt{3}$) جهد الوجه وتيار الخط يساوي تيار الوجه :

$$V_L = \sqrt{3}\,V_{Ph} \qquad I_L = I_{ph}$$

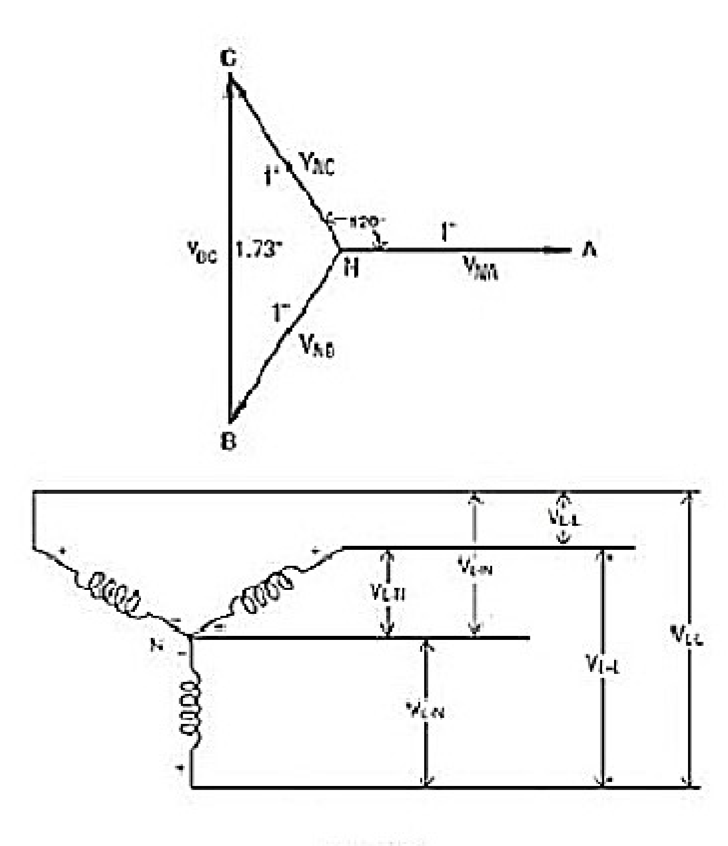
ولكن لماذا يكون في حالة النجمة جهد الخط يساوي $\sqrt{3}$ جهد الوجه؟

في حالة توصيلة النجمة المتزن يكون الجهد على كل وجه متساويا في المقدار وتكون الزاوية بين كل وجه 120 درجة، ففي الشكل التالي نلاحظ الآتي:

1- جهد الوجه يساوي VNA ، VNC & VNB.

2- جهد الخط يساوي VBC.

فإذا فرضنا أن جهد الوجه يساوي واحد بوصة فعن طريق حساب المثلثات نجد أن جهد الخط يساوي 1.73 بوصة.



الشكل (62)

مما سبق نلاحظ أن جهد الخط يتم تسليطه على ذراعين من توصيلة ستار، أما جهد الوجه فيتم تسليطه على ذراع واحد، أما تيار الخط وتيار الوجه فكلاهما يمران في ذراع واحد .

لذلك فإن هذا النوع من التوصيل يستخدم في :

المحولات ذات الجهد العالي : فكما ذكرنا أن جهد الوجه أقل بمقدار √3 من جهد الخط فنتيجة لذلك تقل كمية العزل المستخدمة .

في المحولات ذات القدرات الصغيرة : ففي هذه المحولات يكون التيار صغير وهذا يناسب هذا التوصيل حيث إن كمية التيار التي تمر في الخط هي نفس الكمية التي تمر في الوجه .

مميزاته :

1- لا يوجد فرق في الطور بين جهد الملف الابتدائي وجهد الملف والثانوي، أي أن جهد الابتدائي والثانوي يكون In phase وبالتالي لا يوجد Phase displacement. وهذه الميزة مفيدة في المحولات التي تستخدم في شبكات الربط ذات الجهود المختلفة، فلو كان لدينا شبكة بها درجات من الجهود المختلفة مثل جهد 66 KV . 220 KV & 500 KV فمن السهولة ربط أي جهدين معا بواسطة محول واحد مباشرة 66 KV إلى 220 KV أو من 220 KV إلى 500 KV دون أي تعقيدات فنية أو تصنيعية في المحولات في أي مكان بالشبكة طالما أن جميع المحولات متتابعة وراء بعضها فقط بتغيير نسبة التحويل، فلو كان لدينا محول من نوع آخر (دلتا / ستار مثلا) وسط هذه المجموعة فإننا نحتاج لضبط الزاوية Phase وهذا يعقد الأمور.

2- عدد اللفات وكمية العزل قليلة لكل فازة، وذلك لأن جهد الوجه = Vphase Vline %57 فهي اقتصادية في دوائر الضغط العالي.

3- يمكن الحصول منها على أكثر من قيمة للجهد، فيمكن تغذية أحمال أحادية من محول ثلاثي بل يمكن جعله يغذي حملا وأحد أحاديا إذا حدث عطل على أحد الأوجه Phases وذلك بفصل الوجه Phase المعطل من الجهتين وعمل قصر Short على طرفي أحد الوجهين السليمين وبذلك نستفيد من حوالي 60% من قدرة المحول، لا يصح توصيل حمل إحادي بين أحد الاطراف والأرضي إلا إذا كان المحول من النوع ذو القلب Core type لأن النوع الآخر Shell type ستظهر فيه مشكلة عدم تناسق الفيض المغناطيسي Unsymmetrical flux .

عيوبه :

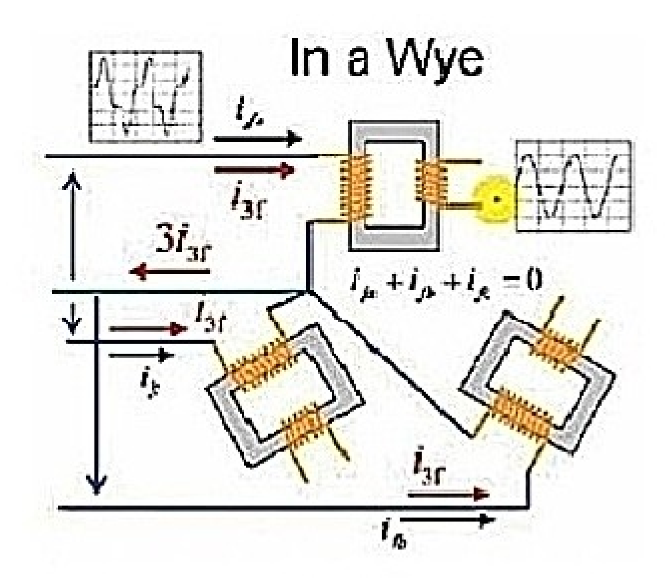
1- عند حدوث تحميل غير متزن على المحول فإن الجهد عند الحمل سيكون غير متزن وتصبح نقطة التعادل غير مستقرة إلا إذا تم توصيل نقطة التعادل (N) الخاصة بالحمل بنقطة التعادل الخاصة بالملف الثانوي.

2- الجهود الميكانيكية أثناء الأعطال تكون عالية جدا بسبب كبر مساحة

مقطع سلك الملفات حيث إن التيار المار في الوجه Phase هو نفسة التيار المار في الخط Line current .

3- التيار الذي يمر في الأرضي يحتوي على التوافقيات من النوع الثالث الذي يؤثر على التليفونات والأجهزة الإلكترونية القريبة.

4- تيار المخنطة يمر في الملف الابتدائي و هذا التيار يحتوي على التوافقيات من النوع الثالث والخامس التي تشوه شكل الموجه إلا إذا تم توصيل نقطة التعادل بنقطة تأرض المولد، كذلك وجود التوافقيات من الدرجة الثالثة في المحولات غير المؤرضة يتسبب أيضا في حدوث زيادة في الجهد over voltage عند انخفاض الأحمال.



الشكل (63)

فنلاحظ أن الجهد الموجود على كل فاز Phase Voltage في الملف الابتدائي هو جهد جيبي Sinusoidal Voltage ، وأنه يسحب تيار المخنطة Magnetizing current المكون من الموجة الأساسية Fundamental wave وتيار التوافقية الثالثة Third Harmonic في كل فاز على حده ، وعند حساب تيار الخط للموجه الأساسية

الراجعة خلال طرف الأرضي Neutral Fundamental wave نجد أنها تساوي صفرا

$$Ifa + Ifb + Ifc = 0$$

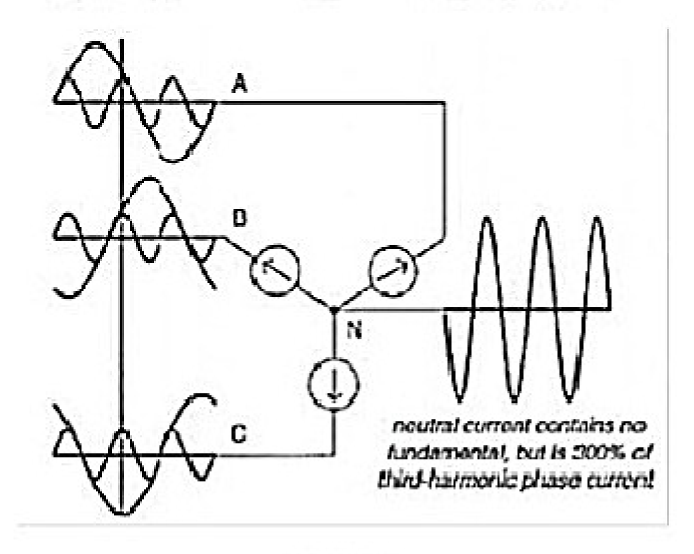
لأن هذه التيارات متساوية وبينهما زاوية مقدارها 120 درجة وبالتالي فإن المجموع الاتجاهي لهم يساوي صفرا ، ولكن حين نجمع تيارات التوافقية الثالثة Third Harmonic نجد أنها تساوي

$$If + If + If = 3If$$

لأنهم متساوون ولهم نفس الوجه Phase ، أي أننا نلاحظ أن توصيلة النجمة Star لا تمنع تيار التوافقية الثالثة من الظهور في تيار الملف الابتدائي لكنها تعطي جهدا على شكل موجة جيبية Sine wave في الملف الثانوي على كل وجه.

وللعلاج نتبع الآتي :

1- يتم توصيل نقطة التعادل بالأرضي Solidly ground the neutral وخصوصا في الملف الابتدائي، فإن توافقيات الدرجة الثالثة تمر بالأرضي.



الشكل (64)

2 – استخدام ملف ثالث على شكل دلتا الـ Tertary Winding في المحولات هى ملف ثالث فى المحول بالإضافة إلى الملفات الابتدائية و الثانوية و وصل

على هيئة دلتا و يستخدم لمرور مركبة التيار الصفرية في حالة عدم اتزان الأحمال على المحول و يستخدم لإنتاج جهد ثالث لمحول و يختلف قيمة القدرة على هذا الملف عن الملفين الرئيسين و في كثير من الأحيان تكون قدرتها ثلث قدرة الملفات الأخرى، و في أحيان أخرى لا يتم استخدام هذا الملف لإنتاج القدرة ولكن لمرور مركبة التيار الصفرية فقط.

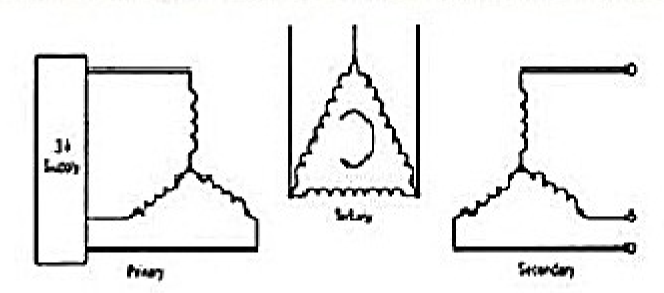
وللملف الثالث مميزات منها :

1- يتم منع ظهور التوافقيات من الدرجة الثالثة في كلا الملفين.

2- يجعل الجهد عبارة عن موجة جيبية Sinusoidal waves .

3- يمكن الحصول على جهد ثالث مختلف عن جهد الملف الابتدائي والثانوي يستخدم في بعض الاغراض الخاصة.

Harmonics in Three-Phase Transformer Banks Yy+d

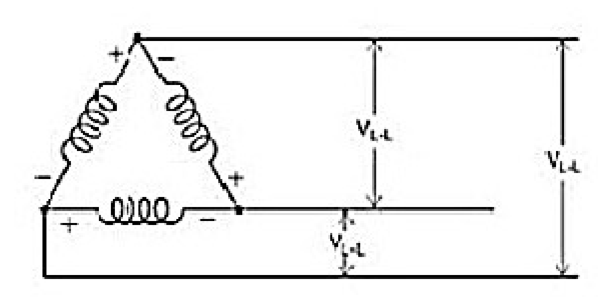


الشكل (65)

2- توصيل (دلتا - دلتا) D – D Connection

من المعروف أنه في توصيلة دلتا Delta Connection أن تيار الخط يساوي ($\sqrt{3}$) تيار الوجه وجهد الخط يساوي جهد الوجه :

$$IL = \sqrt{3}\ IPh \qquad VL = VPh$$



الشكل (66)

مما سبق نلاحظ أن جهد الخط وجهد الوجه يتم تسليطه على ذراع واحد من توصيلة دلتا، وتيار الوجه يمر في ذراع واحد أما تيار الخط فيمر في ذراعين من توصيلة الدلتا .

لذلك فإن هذا النوع من التوصيل يستخدم في :

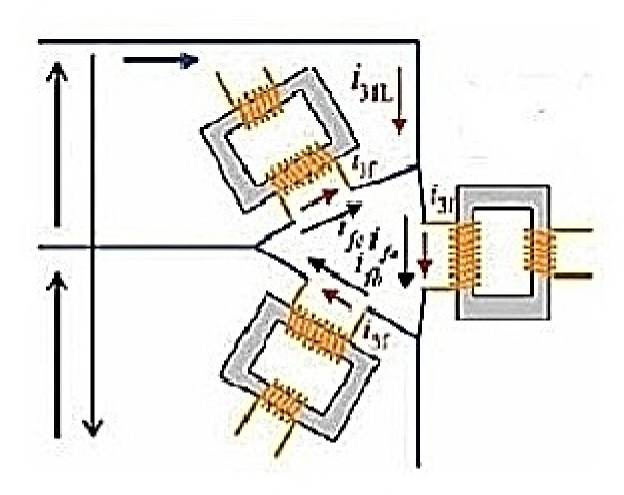
المحولات ذات الجهد المنخفض : حيث يتم تسليط جهد الوجه على ذراع واحد فإذا كان الجهد منخفضا ستقل كمية العزل.

المحولات ذات القدرات الكبيرة : لأن التيار سوف يتوزع علي ذراعين .

مميزاته:

1– لا يوجد فرق في الطور بين الملف الابتدائي والثانوي.

2– لا يحدث تشوه لشكل موجة الجهد نظرا لمرور تيار المغنطة والذي يحتوي علي التوافقيات من النوع الثالث داخل الدلتا للملف الابتدائي ولا تنتقل إلى الملف الثانوي ولا للحمل.



الشكل (67)

فنلاحظ أن الجهد الموجود على كل فاز Phase Voltage في الملف الابتدائي Primary Side هو جهد جيبي Sinusoidal Voltage، وأنه يسحب تيار المغنطة Magnetizing current المكون من الموجة الأساسية Fundamenta wave بالإضافة لتيار التوافقية الثالثة Third Harmonic في كل فاز على حده. وعند حساب قيمة تيار الخط للموجه الأساسية نجد أن هذا التيار له قيمة وعند حساب تيار التوافقية الثالثة نجد أنه يساوي صفرا لأنهم في نفس الوجه وهذا يعني أن تيارات التوافقية الثالثة لا يوجد لها ظهور في تيار الخط في حالة توصيلة الدلتا لأن تيار التوافقية الثالثة يدور داخل الدلتا ولا يظهر خارجها.

3- مساحة مقطع الموصلات صغيرة لأن تيار الوجه يساوي 1/ 1.7 من تيار الخط.

4- عدم اتزان الأحمال في ناحية الملف الثانوي لا تسبب أي مشاكل.

عيوبه:

1- يحتاج إلى عزل كبير.

2- نظرا لعدم وجود نقطة التعادل فإنه عند حدوث قصر لأحد الفازات مع الأرضي فإن الجهد بين الملفات والقلب الحديدي تساوي جهد الخط.

3- توصيل (ستار - دلتا) Y - D Connection

هذا التوصيل يستخدم في نهاية خطوط النقل ويستخدم كمحول خافض، وذلك لأن توصيلة ستار تستخدم في الجهد العالي والتيار المنخفض وتوصيلة دلتا تستخدم في الجهد المنخفض وفي التيار الكبير. ففي نهاية خطوط النقل يتم تخفيض الجهد حتى يتم استخدامه في محطات التوزيع فلذلك يكون هذا النوع مناسبا.

مميزاته:

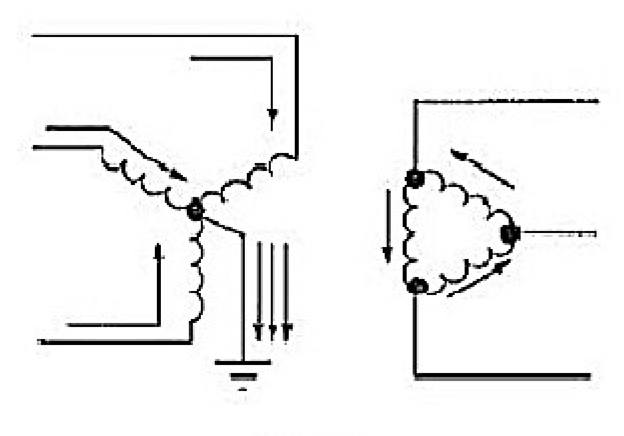
1- مساحة مقطع الموصلات صغير لأن تيار الوجه يساوي 1/ 1.7 من تيار الخط.

2- عدم اتزان الأحمال في ناحية الملف الثانوي لا تسبب أي مشاكل.

3- عدد اللفات وكمية العزل قليلة لكل فازه من الملف لابتدائي.

عيوبه:

1- تيار المغنطة يمر في الملف الابتدائي وهذا التيار يحتوي على التوافقيات من النوع الثالث والخامس التي تشوه شكل الموجة إلا إذا تم توصيل نقطة التعادل بنقطة تأرض المولد. كما هو موضح بالشكل (68).



الشكل (68)

2- الملف الابتدائي يسبق الملف الثانوي بزاوية 30 درجة وهذا يسبب مشكلة في حالة عمل المحولات على التوازي.

3- يحتاج إلى عزل كبير في الملف الثانوي.

4- نظراً لعدم وجود نقطة التعادل في الملف الثانوي فإنه عند حدوث قصر لأحد الفازات مع الأرضي فإن الجهد بين الملفات والقلب الحديدي تساوي جهد الخط.

4- توصيل (دلتا – ستار) D – Y Connection

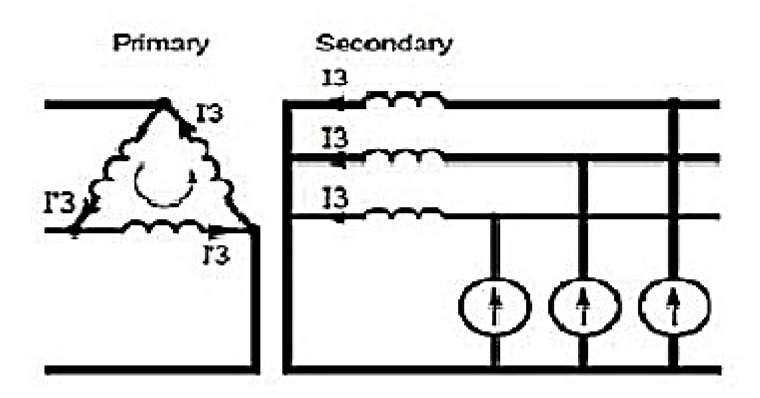
هذا النوع من التوصيل يستخدم في حالتين كالتالي:

1- يستخدم كمحول رافع في بداية خطوط النقل، ففي محطات التوليد يكون جهد التوليد صغيرا (من 6.6 كيلوفولت – 20 كيلوفولت) لذا يستخدم هذا النوع من المحولات، لأن الملف الابتدائي يكون دلتا (في جانب المولد) وهو مناسب للجهد المنخفض وتيار التوليد العالي وكذلك للاستفادة من مميزات الدلتا التي تمنع تيارات التتابع الصفري Zero sequence currents من العبور من جهة الخط إلى جهة المولد والتي يمكن أن تسبب اهتزازات عنيفة للمولد Vibrations، ويكون الملف الثانوي ستار (في جانب خط النقل) وهو مناسب لجهد النقل العالي والتيار المنخفض لكي يقل الفقد.

2- يستخدم كمحول خافض في محطات التوزيع، فيتم توصيل طرف التعادل Neutral بالأرض ويتم الحصول على جهد الوجه (220 فولت) بالاضافة إلى جهد الخط (380 فولت) ويتم استخدامه في الأغراض السكنية والتجارية .

مميزاته :

1- لا يحدث تشوه لشكل موجة الجهد نظرا لمرور تيار المغنطة والذي يحتوي على التوافقيات من النوع الثالث والخامس داخل الدلتا للملف الابتدائي ولا تنتقل إلى الملف الثانوي ولا للحمل.



الشكل (69)

2- هذه التوصيلة تعزل الأعطال الأرضية في جهة الخط من التأثير علي أجهزة الحماية من الأعطال الأرضية Ground fault Protection المركبة على أجهزة المولدات والتي تكون حساسة جدا وبالتالي نضمن استقرارها بالنسبة للأعطال الخارجية.

3- يستخدم في محولات التوزيع ليغذي الأحمال التي جهدها 220 فولت & 380 فولت.

4- عدم اتزان الأحمال في ناحية الملف الثانوي لا تسبب أي مشاكل.

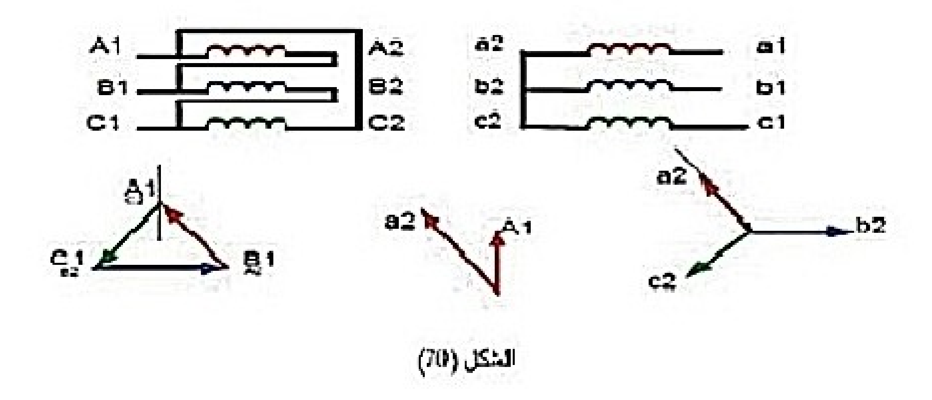
5- عدد اللفات وكمية العزل قليلة لكل فازه من الملف لثانوي.

عيوبه :

1- الجهد الموجود في الملف الثانوي يسبق الجهد الموجود في الملف الابتدائي بزاوية 30 درجة، أي أن الزاوية بين ملفات الابتدائي والثانوي تكون سالب 30 درجة، انظر الشكل (70).

2- يحتاج إلى عزل كبير.

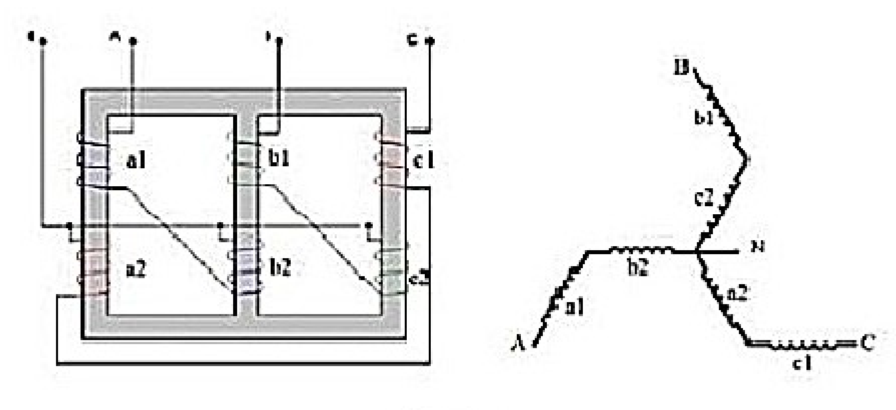
3- نظرا لعدم وجود نقطة التعادل فإنه عند حدوث نصر لأحد الفازات مع الأرضي فإن الجهد بين الملفات والقلب الحديدي تساوي جهد الخط.



الشكل (70)

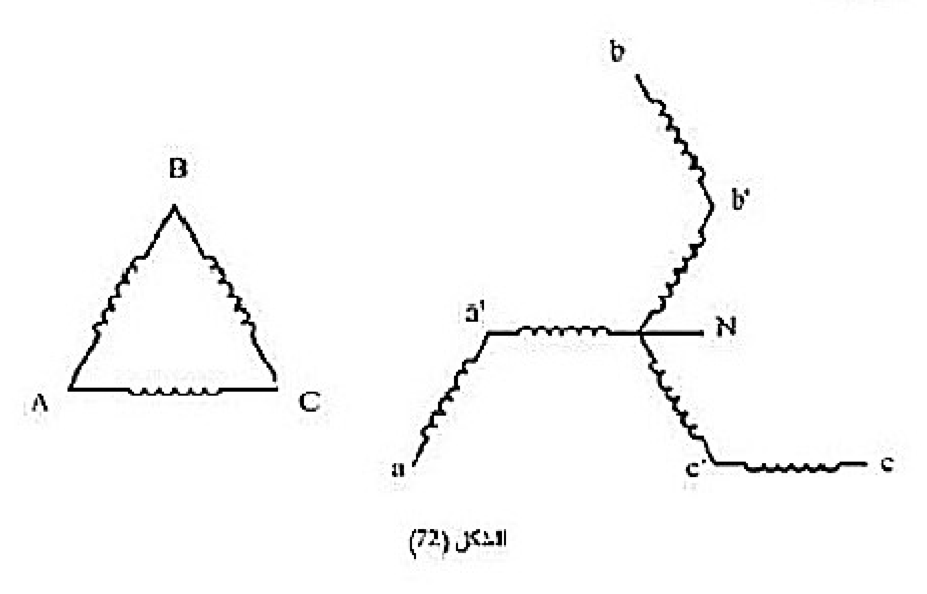
5- توصيل (دلتا – زجزاج) D – Z Connection

تعتبر توصيلة zigzag أو النجمة المتعرجة Interconneted Star من التوصيلات المستخدمة في المحولات حيث يتم تقسيم الملفات كل ملف إلى نصفين موصلين على التوالي، ويتم التوصيل بين الملفات كما في الشكل، فالملف الأول (A) يتكون من جزئين متماثلين الجزء الأول a1 يكون ملفوف على أحد الأرجل والجزء الثاني b1 ملفوفا على رجل أخرى، والملف الثاني (B) يتكون من جزئين متماثلين الجزء الأول b1 يكون ملفوف على أحد الأرجل والجزء الثاني c2 ملفوفا على رجل أخرى، والملف الثالث (C) يتكون من جزئين متماثلين الجزء الأول c1 يكون ملفوف على أحد الأرجل والجزء الثاني a2 ملفوفا على رجل أخرى ويتم الربط بين الملفات بحيث يمكن الحصول على نقطة تعادل، فيوجد ستة لفات على قلب المحول ويتم توصيلها ببعضها البعض وهي تبدو كمزيج من توصيلة النجمة والدلتا، وحيث توصل لفات مع بعضها تستخرج النقطة المحايدة وهذا هو هدفه الأساسي



الشكل (71)

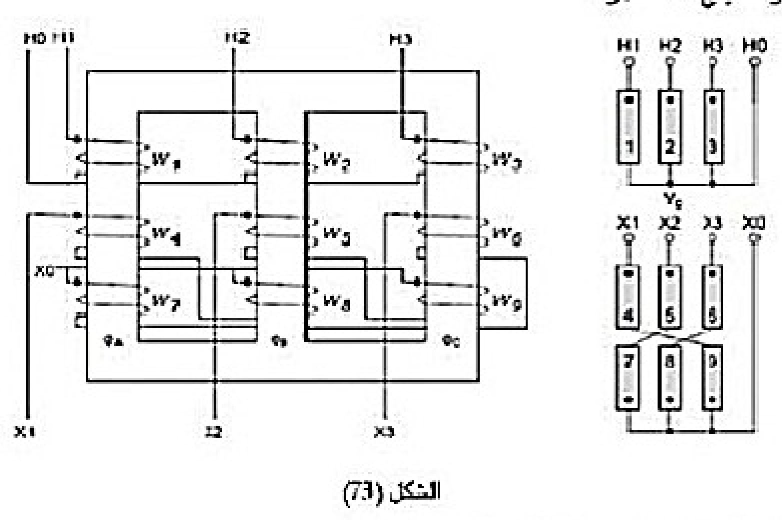
المحول من النوع دلتا – زجزاج) يتم توصيل الملف الابتدائي على شكل دلتا والملف الثانوي على شكل زجزاج، ويكون لهذا المحول نفس مميزات المحول الموصل دلتا – ستار ، بالإضافة إلى عدم وجود إزاحة في الطور بين الملف الابتدائي والثانوي، لذلك فتوصيلة الدلتا – زجزاج تكون مثل توصيلة دلتا – دلتا.



الشكل (72)

6- توصيل (ستار - زجزاج) Y – Z Connection

المحول من النوع ستار – زجزاج) يتم توصيل الملف الابتدائي على شكل ستار والملف الثاوي على شكل زجزاج، ويكون لهذا المحول نفس مميزات المحول الموصل ستار– ستار بالإضافة إلى أن هذه التوصيلة تعمل على حجز التوافقيات الفردية triple harmonic (3rd, 9th, 15th, etc)، لذلك يفضل وضع هذا النوع من المحولات عند الأحمال التي ينتج عنها توافقيات عالية، وتمنع مرورها إلى المصدر.



الشكل (73)

سادسا : المحولات من حيث التبريد

1- محولات جافة Dry Type Transformers :

في هذا النوع لا تغمر الملفات ولا القلب الحديدي في الزيت وإنما توضع في الهواء مباشرة وله قدرات محدودة حتى 3000 ك.ف.أ ويكون الجهد العالي الذي يتحمله 15 كيلو فولت، وتتميز المحولات الجافة بسهولة صيانتها ويفضل استخدامها داخل المباني Indoor لأنها أكثر أمانا من المحولات الزيتية.

ويوجد منها نوعان هما :

1– محولات تبرد بالهواء الطبيعي Self – Air Coold .

2– محولات تبرد بالهواء المدفوع Air – Blast Coold .

أولا : المحولات التي تبرد بالهواء الطبيعي

في هذا النوع تكون الملفات والقلب الحديدي محاطة بالهواء تحت الضغط الجوي العادي، وغالبا ما تكون محولات صغيرة ويتم طرد الحرارة الناشئة في الملفات والقلب الحديدي عن طريق تيارات الحمل الهوائية Convection وعن طريق الإشعاع Radiation من الأجزاء المختلفة، وهذا النوع من المحولات يجب ألا يترك فترة كبيرة دون تشغيل حتى لا تكون معرضة لامتصاص الرطوبة من الجو المحيط.

ثانيا : المحولات التي تبرد بالهواء المدفوع

وهذا النوع يسمى أيضا Cast resin وفيه تكون الملفات مسبوكة داخل عازل خارجي، وهذه المادة العازلة لها نفس معامل التمدد الحراري لمادة الملفات فلا تتأثر بالرطوبة ولا يتكون فيها ممرات هوائية، وهذا النوع تكون كفاءة تسريب الحرارة فيه منخفضة لذا يتم استخدام مراوح وشفاطات للتبريد، ونتيجة للـ Cast resin المحيط بالملفات فإنه أكثر قدرة على تحمل القوة الميكانيكية التي تنشأ عند حدوث قصر Short Circuit داخل المحول.



الشكل (74)

2- محولات زيتية Oil Filled Transformers :

ويتم تبريدها بالزيت وله قدرات حتى مئات الميجا.فولت .أمبير.

فمن المعلوم أن معظم مفاقيد المحول تظهر كحرارة في القلب الحديدي والملفات وباقي أجزاء المحول، وأن الحرارة هي العدو الأكبر للمحول ولكي يعمل المحول بصورة مرضية وبكفاءة عالية لابد من إزالة الحرارة بنفس السرعة التي تنتج بها، ومن هنا تظهر أهمية التبريد في المحولات، وبالنسبة لأغلب المحولات يكون الزيت هو أكفأ وسط لامتصاص الحرارة من القلب والملفات ونقلها إلى الأسطح الخارجية المبردة طبيعيا أو صناعيا.





الشكل (75)

والجدول التالي يوضح أن المفاقيد في المحولات الجافة أكبر من المفاقيد في المحولات الزيتية وذلك في حالة الحمل الكامل وفي حالة نصف الحمل.

(Oil Transformer) Losses			Dry Type Transformer Losses		
KVA	Half Load (w)	Full Load (w)	KVA	Half Load (w)	Full Load (w)
500	2465	4930	500	5000	10000
750	3950	7900	750	7500	15000
1000	4360	8720	1000	8200	16400
1500	6940	13880	1500	11250	22500
2000	8155	16310	2000	13200	26400

فوائد زيت المحولات:

1- العزل، فمن المعروف أن جهد الانهيار للزيت قد يصل إلى 80 ك • ف \ سم وجهد الانهيار للهواء يصل إلى 30 ك • ف \ سم، وبالتالي فإن الزيت أفضل بكثير من الهواء، فعند وضع الزيت في المحول فإنه يزيد من قوة العزل بين الملفات وبعضها وبين الملفات والقلب الحديدي والتانك، فزيادة قوة العزل بين الملفات الابتدائية والملفات الثانوية تساعد على تقليل المسافة بينهما، وبالتالي يمكن الحصول على حجم معقول للمحول، فمعنى أن قوة عزل الهواء تساوي 30 ك • ف \ سم هو أن كل موصلين كهربيين بينهما مسافة 1 سم يمكن أن يرتفع فرق الجهد بينهما بما لا يزيد عن 30 ك • ف وإذا أردت أن تضيق المسافة بينهما دون حدوث شرارة كهربية فيجب تغيير مادة الفراغ بينهما لتصبح زيت (جهد الانهيار للزيت قد يصل إلى 80 ك • ف \ سم) بدلا من الهواء.

2- التبريد، فالزيت يتغلغل بسهولة بين الملفات والقلب الحديدي وتنتقل إليه الحرارة من الملفات والقلب ثم نقوم بطرد الحرارة الموجودة بالزيت إلى الوسط الخارجي بعدة طرق (التوصيل – الحمل – الإشعاع) بمساعدة بقية عناصر منظومة التبريد (المضخات – الراديتير – المواسير – المراوح) أو من خلال التلامس الطبيعي بين الزيت وجسم المحول الخارجي، فعن طريق انتقال الحرارة المتولدة في القلب والملفات إلى الزيت المحيط بها من خلال العوازل الصلبة (عوازل الملفات وعوازل رقائق قلب المحول) ويقوم الزيت بنقل تلك الطاقة الحرارية إما إلى خزان المحول وملحقات التبريد الخاصة به وإما إلى أسطح منفصلة أكثر برودة ويتم بعد ذلك التخلص من الحرارة نهائيا.

3- حماية ورق العزل والخشب والملفات والقلب الحديدي المستخدمين في عزل وتثبيت الملفات من الرطوبة والرواسب، ففي حالة عدم وجود الزيت نجد أن ورق العزل يتأثر بالحرارة.

4- الزيت يغطي كل الأجزاء المعدنية فيمنع حدوث العديد من العمليات الكيميائية مثل الأكسدة التي تؤثر بشدة على توصيلية الموصلات، كما يمنع أي تفاعلات أخرى كالتي يتكون من بعضها الصدأ وبالتالي يمنع حدوث شوائب وبالتالي يساعد على محافظة كل مكونات المحول بحالتها لفترات كبيرة جدا.

5- يساعد في كشف العديد من الأعطال في المحول حيث إن حدوث عطل بالمحول يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الزيت (فيتم معرفة الأعطال عن طريق عداد حرارة الزيت)، وكذلك يؤدي إلى تغيرات كيميائية في خواص الزيت داخل المحول نتيجة للطاقة الكبيرة الناتجة عن العطل، فعن طريق أخذ عينة من الزيت وتحليلها فإننا نصل إلى نتائج تساعد في تحديد نوعية العطل داخل المحول، كذلك يمكن معرفة الأعطال عن طريق جهاز البوخهلز ريلاي.

أنواع زيوت المحولات :

يستخدم نوعان اساسيان من السوائل فى عمليه العزل والتبريد فى المحولات هما :

1- الزيت المعدنى.

2- السوائل المقاومة للحريق.

أولا : الزيت المعدني :

الزيت المعدني Mineral Oil وهو نوع من الزيوت الطبيعية التي تستخرج مباشرة في مصافي البترول دون أي إضافات كيميائية، ويعتمد أداء المحول إلى درجة كبيرة على خواص الزيت الفيزيائية والكيماوية والكهربية، ويفضل استخدامه في المحولات التي يتم تركيبها خارج المباني.

وللزيت المعدني عيوب من أهمها :

1- قابل للاشتعال.

2- بخاره يختلط بالهواء وهذا الخليط قابل للانفجار.

3- يمتص الرطوبة بصورة كبيرة.

ثانيا : السوائل المقاومة للحريق :

حيث إن الزيت المعدني قابل بطبيعته للاشتعال؛ ظهرت الحاجة إلى البحث عن سوائل أخرى لها نفس الخواص الكهربية والكيميائية الممتازة للزيت ولكن يكون لها القدرة على مقاومة الحرائق، وقد ظهرت أنواع كثيرة من السوائل المقاومه للحريق ومن أشهرها :

1- سائل الإستر التخليقي Synthetic Ester Fluid

2- السائل السليكوني Silicon Liquid

3- الـ High - density hydrocarbons

4- الـ Insulating halogen liquids

خصائص زيت المحولات:

هناك خصائص كثيرة جدا لزيت المحولات من أهمها :

1- اللزوجة المنخفضة

توجد ثلاث طرق لتبديد الحرارة المتولدة هي الإشعاع والتوصيل والحمل، والحمل هو أهم هذه الطرق وهو يعتمد على التدوير الطبيعي الذي تحدثة الجاذبية نتيجة الفرق بين كثافة السائل الساخن وكثافة السائل البارد فالزيت الساخن تقل كثافته وبالتالي يرتفع إلى أعلى ويحل محله زيت بارد.، ولذا من المهم بالنسبة لزيت المحول أن تكون له لزوجة منخفضة حتى يتم سهولة سريان الزيت، كما تساعد اللزوجة المنخفضة في اختراق الزيت داخل الأنابيب الضيقة وتساعد في تدويرة خلال الملفات لمنع التسخين. كما تساعد اللزوجة المنخفضة للزيت في اختراق وملء الفراغات بين طبقات العزل الملفوف وبالتغلغل بالورق ومواد العزل الأخرى.

2- نقطة الانسكاب المنخفضة

هذه الخاصية مهمة جدا في المحولات المستخدمة في الأجواء الباردة حيث تزيد لزوجة الزيوت بانخفاض درجة حرارتها حتى تصبح نصف صلبة، وهي

المرحلة التي ينعدم فيها تأثير التبريد وفاعليته في زيادة اللزوجة، فنقطة الانسكاب للسائل هي أقل درجة حرارة يكون عندها السائل قادرا على السريان الملحوظ، لذلك لابد أن يحتفظ الزيت بلزوجته المنخفضة عند انخفاض درجة الحرارة حتى لا يحدث إعاقة للسريان بشكل مؤثر.

3- **نقطة الوميض العالية** Flash Point

نقطة الوميض هي أقل درجة حرارة ينتج عندها السائل أبخرة لذلك من الضروري أن تكون درجة حرارة الزيت أقل كثيرا من نقطة الوميض، حتى لا يحدث فقد للعناصر الأكثر تطايرا التي يشكل وجودها بكميات صغيرة جدا خطرا محتملا للحريق والانفجار. فتحدد نقطه الوميض درجة حرارة الزيت التي تكون عندها الأبخرة المتواجدة في الهواء الملامس لهذا الزيت قابلة للاشتعال إذا تعرضت لأي لهب أو مصدر للحريق مثل الشرر الكهربي ومع ذلك يجب أن تكون نقطة الوميض دائما أعلى من درجة حرارة الزيت أثناء أداء المحول وتحدد المواصفات نقطة الوميض كما يلي 140 درجه م للزيوت الخالية من موانع الأكسدة 130درجة م للزيوت الحاوية على موانع أكسدة.

4- **الاستقرار الكيميائي**

نتيجة لزيادة درجة الحرارة يمكن أن تتحلل جزيئات الزيت إلى مكونات أخف وزنا وأكثر تطايرا مما يؤدي ذلك إلى حدوث حرائق وانفجارات، لذلك يجب ألا يحدث هذا في درجات حرارة التشغيل العادية التي تصل إليها المعدة.

5- **الحموضة** Acidity

هناك عدة أسباب لتكون الحموضة في الزيت منها ارتفاع درجة حرارة الزيت وملامسته للقلب الحديدي وملفات المحول ومنها أيضا مرور التيار التسريبي وحدوث الشرارة في الزيت، وكل هذا ينتج عنه تكون بعض الأكاسيد التي تتسبب في تكوين الأحماض التي تؤدي إلى:

1– تآكل جسم الخزان للمحول.

2- سقوط الصدأ المتكون على ملفات وقلب المحول مما يؤدي إلى حدوث قصر في ملفات المحول.

3- تكوين كتل صلبة Sludge وقد تترسب هذه الكتل على القلب الحديدي والملفات وفي مجاري التبريد للزيت (مواسير التبريد - زعانف التبريد) مما يسبب ضعف عملية التبريد.

4- تتفاعل مع الحديد والنحاس والمواد العازلة (ورق - خشب - ......) وتذيبها جميعا ويعوم الذائب في الزيت فيقل عزل الزيت.

5- قد تحول الحموضة الزيت إلى الكترولبت موصل.

6- تؤدي الحموضة أيضا إلى تآكل العزل خاصة بين اللفات وبعضها مما يعجل بحدوث قصر لفة مع لفة.

وتقاس الحموضة بمادة هيدروكسيد البوتاسيوم اللازمة لمعادلة جرام واحد من الزيت ويجب ألا تزيد نسبة الحموضة على 1 ميللي جرام هيدروكسيد بوتاسيوم / جرام زيت.

6- الماء في الزيت

الماء قابل للذوبان في زيت المحول بشكل محدود. وتتراوح القابلية للذوبان بين 30 و 80 جزء في المليون عند درجة حرارة 20 °م وتكون القابلية للذوبان أعلى عند درجات الحرارة الأعلى.

ويؤدى وجود الماء الحر إلى تقليل القوة الكهربية للزيت. فعندما يكون الماء ذائبا، تقل آثاره السلبية على الزيت. ولكن المشكلة تكون أن العزل الورقى له ميل كبير لامتصاص الماء بحيث تكون الكمية من الماء الموجودة فى الورق أكبر بكثير من تلك الموجودة فى الزيت. ولهذا يكون الهدف الرئيسى فى الحصول على محتوى منخفض من الرطوبة فى الزيت هو الحد من كمية الماء الموجودة فى العزل الورقى والذي يقلل بشدة خواص عزله الكهربى. تتأثر خواص الزيت بدرجة كبيرة بوجود الماء فيه وذلك يتبين لنا بوضوح إذا علمنا ان نسبة 0.06% من الماء داخل الزيت تقلل من شده العزل الكهربى له إلى حوالى

نصف قيمتها التي يكون عليها الزيت عندما يكون خاليا تماما من الماء ويمكن بتجربة صغيرة نكشف عن وجود الماء داخل الزيت ويتم ذلك بتسخين مسمار إلى درجة الاحمرار ثم غمسه في الزيت وإذا حدثت (طرقعة) يدل ذلك على وجود الماء داخل الزيت.

7- القوة الكهربية

يجب أن يتميز زيت المحولات بقوة كهربية عالية، فجهد انهيار العزل للزيت يحدد الخواص الكهربية للزيت كمادة عازلة، فأي تلوث يتسرب للزيت مثل الرطوبة moisture أو وجود مواد موصلة conducting material يتسبب في تقليل قوة عزل الزيت فقد يؤدي إلى حدوث شرارة بين الملفات تؤدي إلى سخونة الزيت وربما اشتعاله، وكذلك تسرب الهواء إلى الزيت يتسبب في أكسدة الزيت oxidation وهذا يؤدي إلى تقليل قوة عزل الزيت.

8- قابلية خلط الزيوت

يمكن خلط زيت المحولات من النوع دياله A ، B ، C & D دون حدوث أي مشاكل أو حدوث سطح فاصل أو تفاعل موضعي.

طرق تبريد الزيت Methods of Oil Coolant

يوجد عدة طرق لتبريد المحولات منها:

1- ONAN (Oil Natural Air Natural)

2- ONAF (Oil Natural Air Forced)

3- OFAF (Oil Forced Air Forced)

4- ODAN (Oil Direct Air Natural)

5- ODAF (Oil Direct Air Forced)

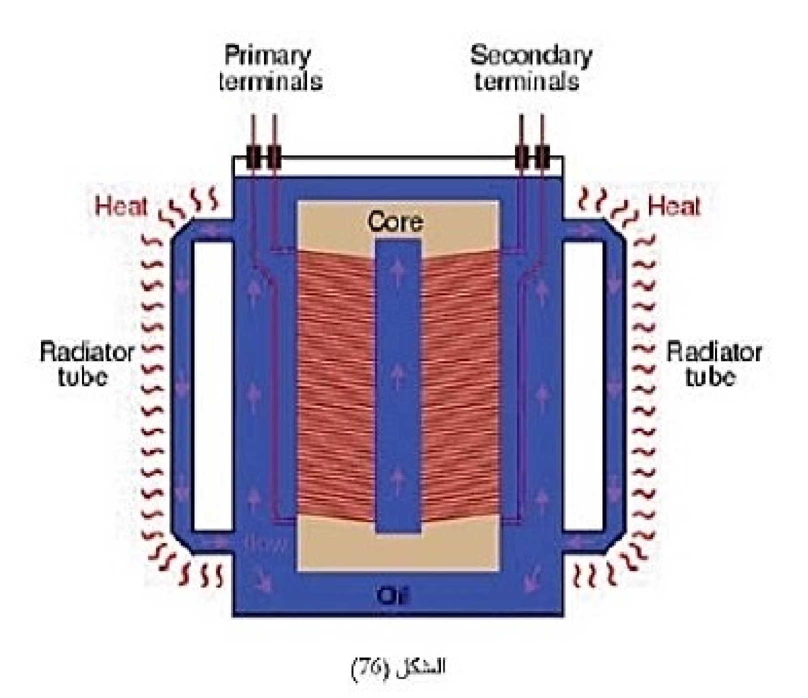
6- OFWF (Oil Forced Water Forced)

7- ODWF (Oil Direct Water Forced)

أولا النوع : ONAN

هذا النوع من التبريد يسمى Oil - immersed . Self cooled حيث يتم تبريد مكونات المحول (القلب الحديدي والملفات) من الداخل بالزيت أي أن القلب الحديدي والملفات يكونوا مغمورين في الزيت داخل الخزان الرئيسي ويتم تبريد المحول من الخارج بالهواء الجوي Natural air circulation ويمكن تركيب زعانف Fins أو مشعاع Radiators على الخزان الرئيسي لزيادة التبريد.

فعندما يسخن الزيت، تقل كثافته فيرتفع إلى أعلى ويدخل الزيت البارد من أنابيب الإشعاع ويدخل الزيت الساخن بدلا منها فيتم تبريده وهكذا.

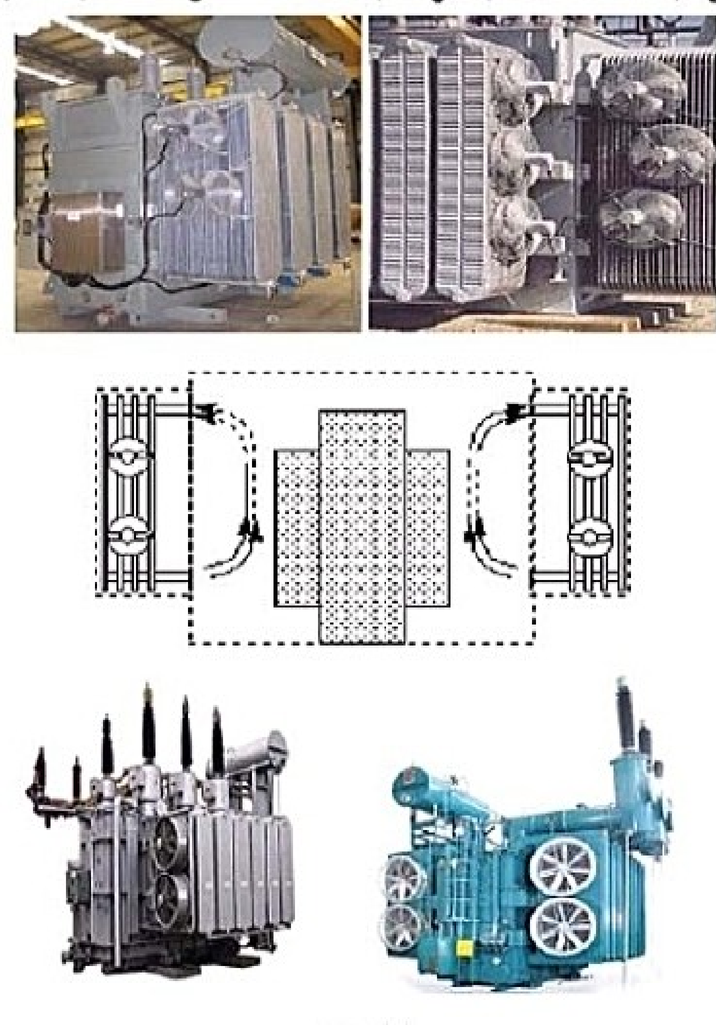


الشكل (76)

ثانيا النوع : ONAF

هذا النوع من التبريد يسمى Oil – immersed . Self cooled / Forced air cooled يكون القلب الحديدي والملفات مغمورين في الزيت، ويتم تبريد مكونات المحول من الخارج بالدورة الطبيعية للهواء الجوي Natural air circulation ويتم تركيب

مراوح Electric Fans على المشعاع لزيادة التبريد بالهواء المدفوع من المراوح، أي أن هذا النوع هو نفس النوع ONAN، بالإضافة إلى تركيب المراوح على المشعاع، وهذا النوع من المحولات يمكن تحميله بقيمتين للقدرة، قيمة عندما تكون المراوح مفصولة وقيمة عندما تكون المراوح تعمل ويكون تقريبا استخدام المراوح يجعلنا نحمل المحول في حدود 35% زيادة على حمله بدون مراوح.



الشكل (77)

ثالثا النوع : OFAF

هذا النوع من التبريد يسمى :

Oil – immersed . Self cooled / Forced air cooled / Forced oil cooled

و يتم استخدام هذه الطريقة في المحولات التي تزيد قدرتها عن 60 ميجاوات، حيث تسبب الحرارة المتولدة فقدا في القدرة يعادل 1% من قدرة المحول أي حوالي 0.6 ميجاوات.

هذا النوع هو نفس النوع ONAF بالإضافة إلى تركيب طلمبة بين المشاع والمحول (كما بالشكل 71). لسرعة انتقال الزيت بين المشعاع والمحول فتزيد دورة الزيت وبالتالي يزيد التبريد

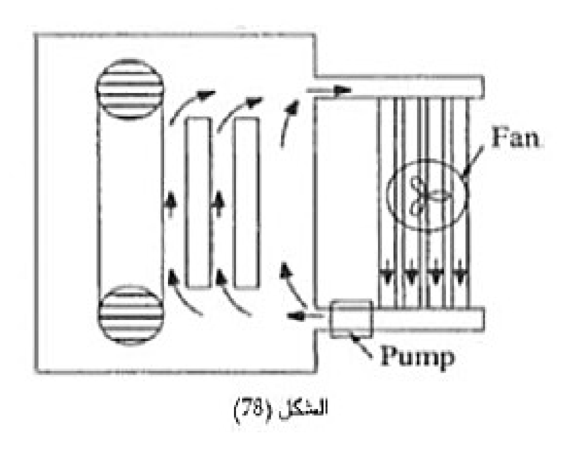
ولكن في هذه الطريقة تقوم الطلمبات بضخ الزيت داخل التانك بطريقة حرة وعشوائية ولهذا تسمى هذه الطريقة Non – Direct Flow .

وفي هذا النوع يكون المحول له ثلاث قدرات :

1– قدرة بدون مراوح وطلمبات.

2– قدرة أعلى عند تشغيل المراوح.

3– قدرة أعلى عند تشغيل المراوح والطلمبات.

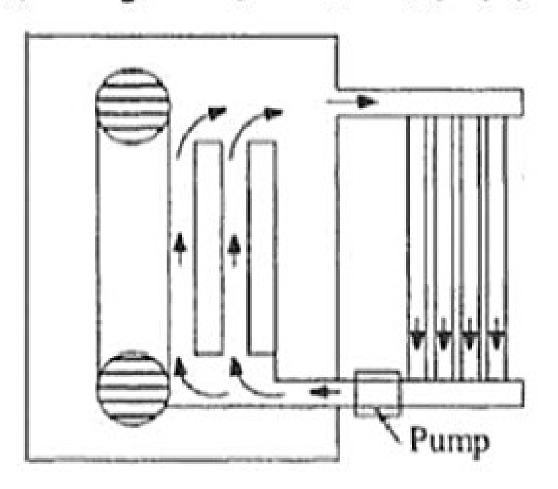


الشكل (78)

رابعا النوع : ODAN

في هذا النوع يتم تبريد مكونات المحول (القلب الحديدي والملفات) من الداخل بالزيت، أي أن القلب الحديدي والملفات يكونوا مغمورين في الزيت داخل الخزان الرئيسي ويتم تبريد المحول من الخارج بالهواء الجوي ولا تستخدم مراوح في هذا النوع، ويتم تركيب مشعاع Radiators على الخزان الرئيسي ويتم تركيب طلمبات بين المشعاع والخزان الرئيسي لزيادة دورة الزيت لسرعة التبريد.

وهذه الطلمبات تضخ الزيت في مسارات محددة ليمر خلال وبين الملفات ولا تضخ الزيت بطريقة حرة وعشوائية داخل التانك ولذلك تسمى هذه الطريقة Direct Flow.



الشكل (79)

خامسا النوع : ODAF

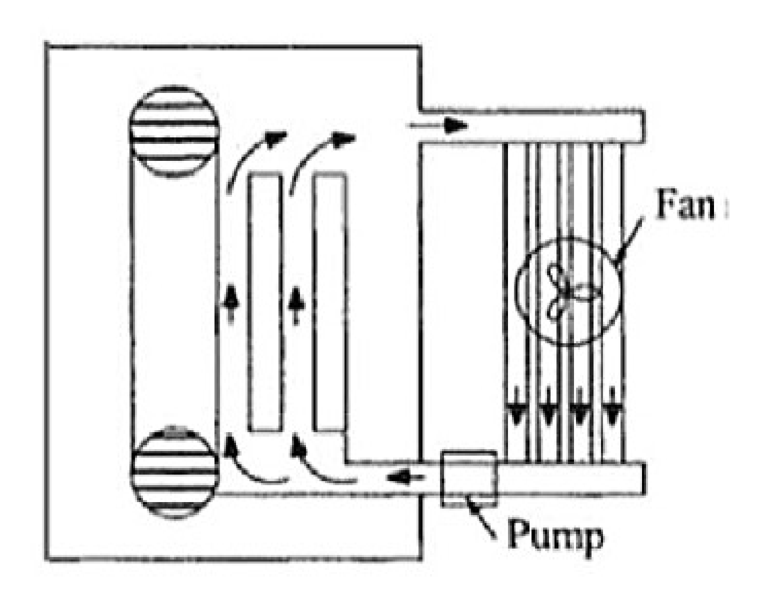
يكون القلب الحديدي والملفات مغمورين في الزيت، و يتم تبريد مكونات المحول من الخارج بالدورة الطبيعية للهواء الجوي ويتم تركيب مراوح على المشعاع لزيادة التبريد بالهواء المدفوع من المراوح، ويتم تركيب طلمبة لسرعة انتقال الزيت بين المشعاع والمحول فتزيد دورة الزيت وبالتالي يزيد التبريد . أي أن هذا النوع هو نفس النوع ONAF بالإضافة إلى تركيب الطلمبة بين المشاع والمحول.

و في هذه الطريقة تقوم الطلمبات بضخ الزيت داخل التانك في مسارات محددة ليمر خلال وبين الملفات، ولا تضخ الزيت بطريقة حرة وعشوائية داخل التانك كما في الطريقة OFAF ولذلك تسمى هذه الطريقة Direct Flow، وفي هذا النوع يكون المحول له ثلاث قدرات :

1- قدرة بدون مراوح وطلمبات.

2- قدرة أعلى عند تشغيل المراوح.

3- قدرة أعلى عند تشغيل المراوح والطلمبات.

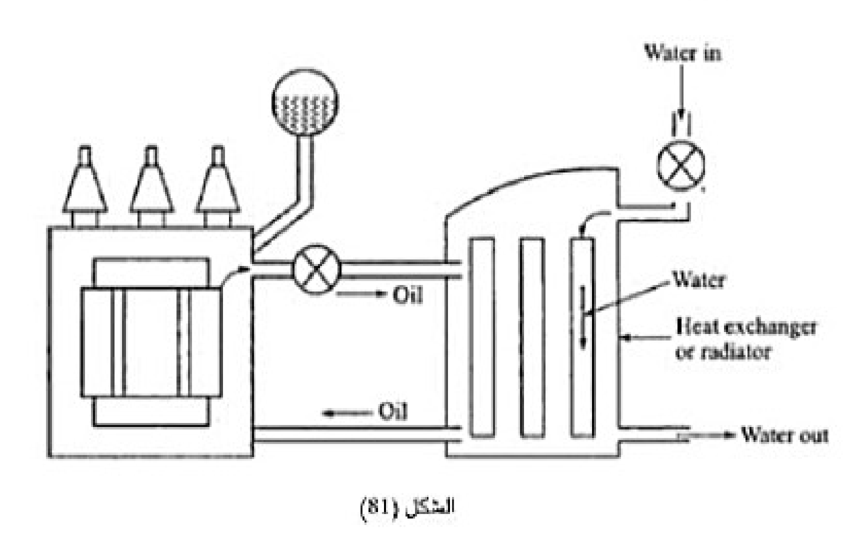


الشكل (80)

سادسا النوع : OFWF

تستخدم هذه الطريقة في المحولات الكبيرة التي تقدر قدرتها بمئات الميجاوات، حيث يتم تركيب مبادل حراري Heat Exchanger خارج المحول، ويتم ضخ ماء التبريد Cooling water عن طريق طلمبة خلال المبادل الحراري حيث يتم تبريد زيت المحول عن طريق الماء داخل المبرد الحراري، فعند زيادة درجة حرارة الزيت يرتفع إلى أعلى ويتم دخوله إلى المبادل الحراري عن طريق محبس (بلف) ، وعندما يبرد الزيت يعود ليدخل إلى المحول من أسفل المبادل الحراري، أي أن :

1- يتم دخول الزيت من المحول إلى المبادل الحراري من الماسورة العلوية.
2- يتم ضخ ماء التبريد إلى المبادل الحراري، ليقوم الماء بتبريد الزيت (كلا من الزيت والماء يمران في مواسير منفصلة داخل المبادل الحراري ولا يحدث بينهما أي خلط).
3- يعود الزيت بعد تبريده إلى المحول من الماسورة السفلية بطريقة حرة وعشوائية.

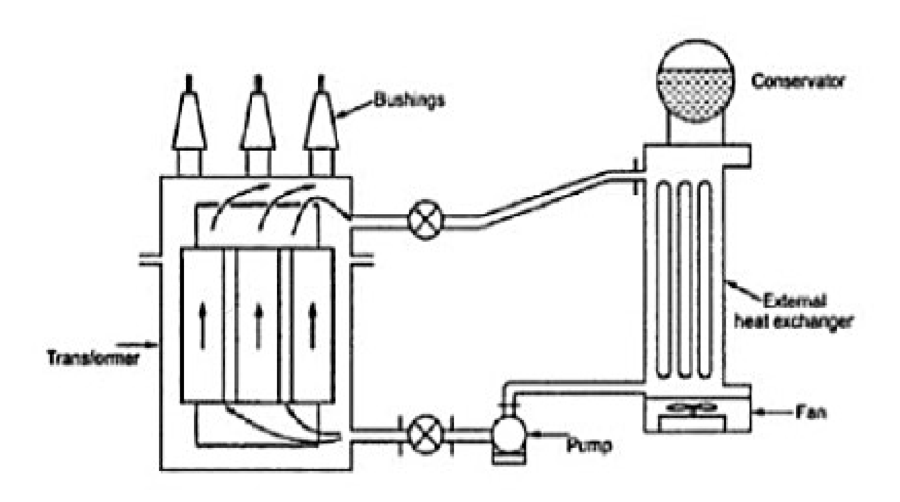


الشكل (81)

سابعا : الطريقة ODWF

تستخدم هذه الطريقة أيضا في المحولات الكبيرة التي تقدر قدرتها بمئات الميجاوات، حيث يتم تركيب مبادل حراري خارج المحول، وماء التبريد يتم دخوله المبادل الحراري من خلال خزان مثبت أعلى المبادل الحراري ، حيث يتم تبريد زيت المحول عن طريق الماء داخل المبرد الحراري ، فعند زيادة درجة حرارة الزيت يرتفع إلى أعلى ويتم دخوله إلى المبادل الحراري عن طريق محبس ، ويتم تركيب مراوح على المبادل الحراري لزيادة كفاءة التبريد، وعندما يبرد الزيت يعود ليدخل إلى المحول من أسفل عن طريق طلمبة .

هذه الطريقة من طرق التبريد تشبه تماما الطريقة OFWF ولكن الفرق الوحيد هو أن الطلمبات تضخ الزيت في مسارات محددة ليمر خلال وبين الملفات ولا تضخ الزيت بطريقة حرة وعشوائية داخل التانك كما في الطريقة OFWF.



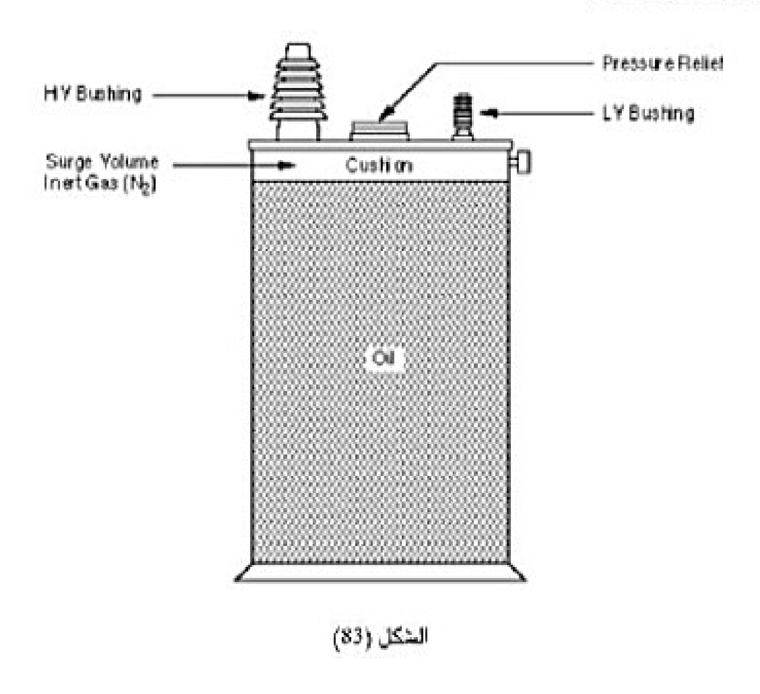
الشكل (82)

أنواع أخرى من المحولات الزيتية

1- المحولات المغلقة Sealing Transformers

أ- النوع الأول:

هي محولات يكون بها خزان رئيسي فقط (أي لا يوجد بها خزان احتياطي ولا يوجد جهاز بوخهلز ريلاي ولا يوجد أيضا وعاء سليكاجل) وتكون محكمة الغلق حيث يتم عمل لحامات جيدة للخزان الرئيسي ، ويوضع القلب الحديدي الـ Core والملفات الـ windings داخل الخزان الرئيسي وتكون مملوءة بالزيت لمستوى معين محسوب حسب تصميم المحول و يتم ترك منطقة فراغ فوق الزيت يوضع بها هواء جاف مضغوط Pressurized dry air أو نيتروجين Nitrogen، ويصمم هذا النوع من المحولات ليعمل عند درجات الحرارة من − 5 °م حتى 105 °م، فعند زيادة درجات الحرارة يتمدد الزيت داخل التانك و جهاز تنفيس الضغط Pressure relief valve.

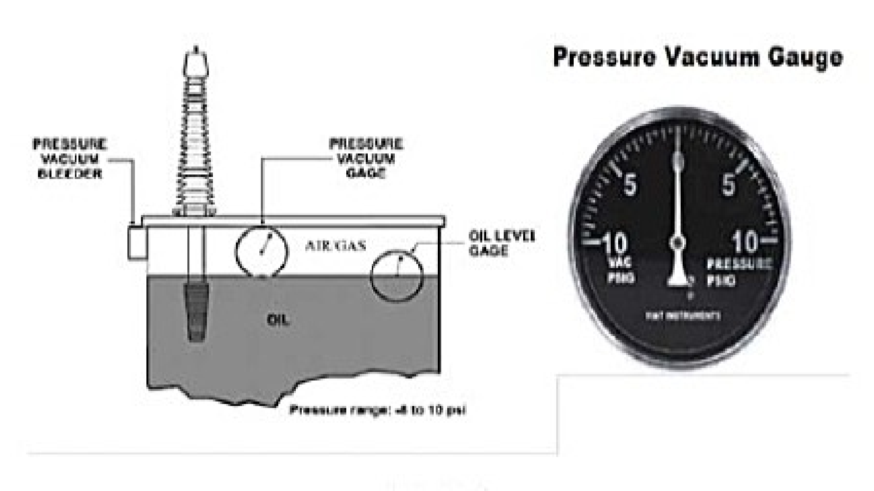


الشكل (83)

ب- النوع الثاني:

هي محولات يكون بها خزان رئيسي فقط (أي لا يوجد بها خزان احتياطي ولا يوجد جهاز بوخهلز ريلاي ولا يوجد أيضا وعاء سليكاجل) وتكون محكمة الغلق حيث يتم عمل لحامات جيدة للخزان الرئيسي ، ويوضع القلب الحديدي الـ Core والملفات الـ windings داخل الخزان الرئيسي وتكون مملوءة بالزيت لمستوى معين محسوب حسب تصميم المحول و يتم ترك منطقة فراغ فوق الزيت يوضع بها هواء جاف مضغوط Pressurized dry air أو نيتروجين Nitrogen ويتم تركيب بلف Pressure / Vacuum Bleeder valve ، وهذا البلف مصمم للحفاظ على الضغط داخل المحول في حدود psi ± أي أن الضغط إما أن يكون ضغط موجب (أعلى من الضغط الجوي بمقدار psi +10 أو يكون ضغط سالب (فاكيوم) (أقل من الضغط الجوي بمقدار psi −10) فعند زيادة درجات الحرارة يتمدد الزيت داخل التانك ويزيد حجم الزيت ويحدث ارتفاع في الضغط الداخلي، فإذا أصبح الضغط داخل المحول أعلى من psi +10 فوق الضغط الجوي فيتم فتح البلف ويتم تصريف الهواء أو النيتروجين إلى الهواء الجوي، وعند انخفاض درجات الحرارة ينكمش الزيت داخل التانك ويقل حجم الزيت ويحدث انخفاض في الضغط الداخلي، وإذا أصبح الضغط داخل المحول أقل من psi 10 − يتم سحب هواء من الخارج إلى داخل المحول وهذا الهواء يكون به أكسوجين الذي يسبب أضرار خطيرة للمحول.

ويفضل في هذا النوع من المحولات أن يتم أخذ عينة من الزيت للاختبار عندما يكون الضغط داخل المحول في الاتجاه الموجب حتى لا يتسبب أخذ العينة في دخول الهواء الخارجي داخل المحول.

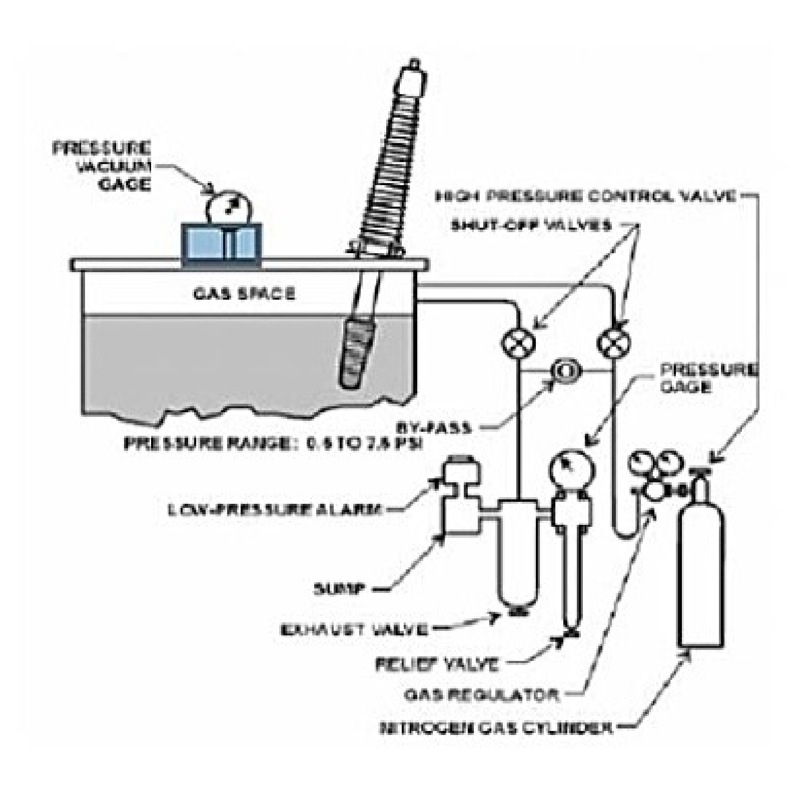


الشكل (84)

2- **المحولات محكمة الغلق** Hermetically Sealed ، Liquid Filled Transformers :

هي محولات يكون بها خزان رئيسي فقط وتكون محكمة الغلق وتكون ممتلئة بالزيت لمستوى معين محسوب حسب تصميم المحول، و يتم وضع طبقة من غاز النيتروجين المضغوط ليشكل فراغا بنسبة حوالي 10% فوق الزيت في التانك الأصلي، وتزود المنظومة في هذه الحالة بأنابيب مملوءة بالنيتروجين توضع ملحقة بالمحول لتعويض أي انخفاض في ضغط الغاز فوق الزيت فعند ارتفاع درجة الحرارة يتمدد الزيت ويزيد حجمه فيقوم جهاز Pressure / Vacuum Bleeder Device ببيان حالة ضغط الغاز أو الفاكيوم الذي يحدث نتيجة تمدد الزيت وانكماشة نتيجة التغير في درجة الحرارة.

وعيب هذا النوع من المحولات ذات النظام المغلق هو وجود الماء الذي يتكون نتيجة لعملية تحلل كل من الزيت والعزل فيتم حجز هذا الماء داخل المحول مسببا أضرارا بالغة بالمحول.


PRESSURE VACUUM GAGE
HIGH PRESSURE CONTROL VALVE
SHUT-OFF VALVES
GAS SPACE
PRESSURE GAGE
BY-PASS
LOW-PRESSURE ALARM
SUMP
EXHAUST VALVE
RELIEF VALVE
GAS REGULATOR
NITROGEN GAS CYLINDER

الشكل (85)

الفصل الثاني

محولات القياس

عندما يتم قياس الجهد والأمبير وتشغيل أجهزة الحماية فإنه ليس من الأمان توصيل هذه الأجهزة مباشرة مع دوائر الجهد العالي ، ويتم استخدام محولات معينة تسمى محولات الأجهزة لخفض الجهد العالي والتيارات العالية إلى قيم منخفضة ومناسبة يمكن استخدامها مع أجهزة القياس والتحكم والحماية .

وتقوم هذه المحولات بوظيفتين رئيسيتين :

1- التمكين من استخدام أجهزة قياس الجهد والتيار المنخفض القياسية لقياس الجهود والتيارات العالية.

2- تعمل كأداة عزل لحماية الأجهزة والأشخاص من الجهود العالية.

وتنقسم إلى الأنواع الآتية :

1- محولات الجهد.

2- محولات التيار.

وتستخدم محولات الأجهزة في:

1- القياس.

2 - التحكم.

3 - الحماية.

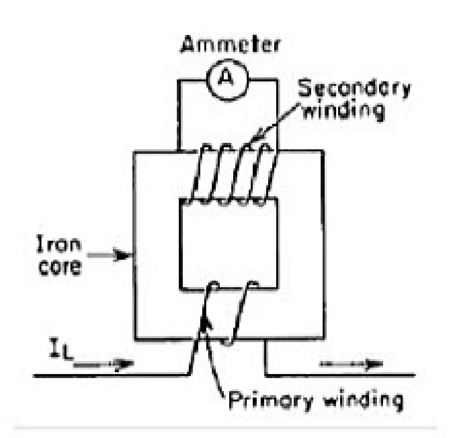
أولا : محول التيار

يتكون محول التيار من ملف ابتدائي Primary Windings وهو الذي يوصل على التوالي مع المغذيات ويكون عدد لفاته واحدة أو بضع لفات وعزلة الكهربي

مرتفعا ليتحمل الجهد العالي الذي سوف يسلط عليه. والملف الثانوي Secondary Winding وعدد لفاته أكبر كثيرا من عدد لفات الملف الابتدائي، النسبة بين عدد لفات الملف الثانوي إلى عدد لفات الملف الابتدائي تساوي النسبة بين قيمة التيار الابتدائي إلى التيار الثانوي تساوي نسبة التحويل الاسمية لمحول التيار Kn .

$$Kn = Ip / Is = Ns / Np$$

والملف الابتدائي والملف الثانوي مرتبطان مغناطيسيا من خلال قلب من شرائح الصلب السليكوني ذات الخواص المغناطيسية الجيدة ومعزولان كهربيا عن بعضهما وعن القلب الحديدي وعن الأرض وقيم عزل كل منهما تتناسب مع الجهد الاسمي له، ويتكون القلب الحديدي من شرائح Laminations من الصلب عندما تتجمع مع بعضها تكون قلب حديدي على شكل أسطوانة مجوفة من الداخل يتم عزلها ثم يلف عليها الملف الثانوي. ومحول التيار يكون كبيرا إذا كان الجهد الابتدائي الاسمي له كبيرا.

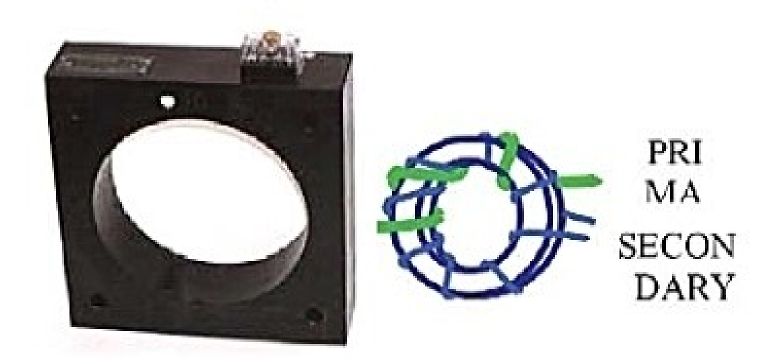


الشكل (86)

وتنقسم محولات التيار من حيث أنواع الملفات الابتدائية إلى :

1- محول ذات الملف الابتدائي الملفوف Wound Primary CT

يكون الملف الابتدائي عبارة عن موصل ذي مساحة مقطع كبيرة لتتحمل مرور تيارات القصر بها ويلف حول القلب الحديدي مكونا عدد لفات معينا.



الشكل (87)

2- محول ذات ملف ابتدائي قضيب Bar Primary CT

يكون الملف الابتدائي في هذا النوع من موصل على شكل قضيب ذي مساحة مقطع كبيرة لتتحمل تيارات القصر ويوجد نوعان من هذا المحول هما :

أ- محول تيار ذو ملف ابتدائي قضيبي مثبت مع القلب الحديدي وملف ثانوي مثبت مع العازل.



الشكل (88)

ب- محول تيار ذو قلب حديدي أسطواني أجوف وملف ثانوي فقط، ويسمى هذا النوع محول تيار حلقي Ring Type Current Transformer وهذا النوع من محولات التيار يركب على الكابلات أو على عوازل قواطع التيار أو على عوازل محولات القدرة وفي هذه الحالة فإن الموصل الموجود داخل القلب يعمل كملف ابتدائي من لفة واحدة وقد يصنع القلب من نصفين حتى يمكن تركيبه حول الكابلات أو الموصلات دون إعادة فكها.




الشكل (89)

مستوى الدقة لمحولات التيار Accuracy Class

هناك نسبة خطأ في نسبة التحويل لكل محول يتم حسابها كالتالي :

نسبة الخطأ% = [(نسبة التحويل × التيار الثانوي) - التيار الابتدائي] / التيار الابتدائي

Current error % = [(Kn x Is) - Ip] × 100 / Ip)]

محولات التيار التي تستخدم في القياس

يمكن تقسيم محولات التيار المستخدمة في القياس تبعا لقيم الخطأ المسموح به إلى :

(Class 0.1 , Class 0.2 , Class 0.5 , Class 1.0 , Class 3.0 & Class 5)

فمثلا يكون مكتوب على المحول CL 0.5 100 / 5

ومعنى ذلك أن التيار الابتدائي هو 100 أمبير والثانوي 5 أمبير وأقصى نسبة

خطأ عندما يكون أقصى حمل هي 0.5 أمبير ، فمثلا إذا كان يمر في الدائرة أقصى حمل فإن الاميتر يقرأ إما 100.5 أمبير أو 99.5 أمبير.

2- محولات التيار التي تستخدم في الحماية

يمكن تقسيم محولات التيار المستخدمة في الحماية تبعا لقيم الخطأ المسموح به إلى:

5P ، 10P & 15P

فالرقم P يدل على أن المحول يستخدم في الحماية.

فمثلا يكون مكتوب على المحول 5P10 5 / 100

ومعنى ذلك أن التيار الابتدائي هو 100 أمبير والثانوي 5 أمبير ومعامل الدقة عندما يصل التيار إلى 10 أضعاف هو 5+ أو 5- امبير.

ترقيم وتسمية محولات التيار

1- الملف الابتدائي له طرفان فقط فتكون البداية P1 أو H1 والنهاية P2 أو H2.

2- الملف الثانوي من الممكن أن يتكون من :

أ- ملف واحد له بداية (S1 أو X1) ونهاية (S2 أو X2).

ب- ملف واحد له بداية (S1) ووسط (S2) ونهاية (S3).

ت- ملفين بداية الأول (1S1) ونهايته (1S2) وبداية الثاني (2S1) ونهايته (2S2) وغالبا ما يستخدم الملف الأول في القياس والملف الثاني في الحماية.

فمثلا المحول 5P10 CL0.5 5 / 5 / 100

ويكون 1S2 & 1S1 للقياس

ويكون 2S2 & 2S1 للحماية

ويجب العلم أن الرقم على يسار الحرف S يبين رقم الملف والرقم الذي على يمينه يبين بداية أو وسط أو نهاية الملف.

حمولة محول التيار (Burden)

هي القدرة بالفولت أمبير التي يمكن تحميلها على محول التيار بصفة دائمة على أن تظل قيمة الخطأ في نسبة التحويل ثابتة وهي مجموع حمولات

التوصيلات وأجهزة الحماية والقياس والكنترول المتصلة بمحول التيار بالفولت أمبير.

ويمكن حسابها كالآتي:

1- فصل الأطراف S1 & S2 عن محول التيار عند أقرب روزتة.

2- يتم توصيل مصدر للجهد المتردد يمكن التحكم في قيمتة إلى نقط التوصيل المقابلة للأطراف الثانوية المتصلة بأجهزة الوقاية ويتم رفع الجهد تدريجيا ونلاحظ قيمة التيار حتى نصل إلى قيمة التيار الأسمي لمحول التيار.

3- يتم قياس الجهد الذي مرر هذا التيار.

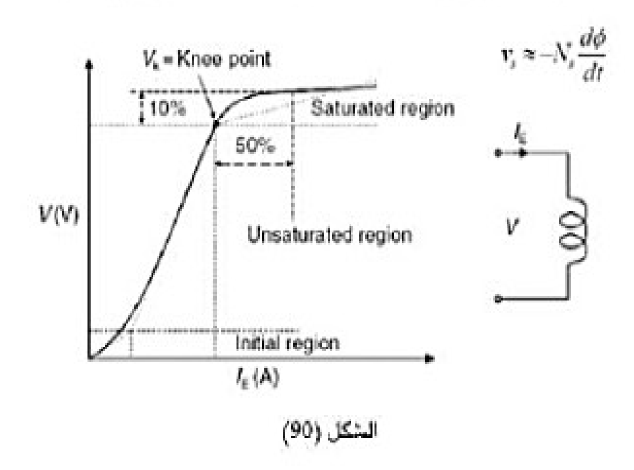
4- الحمولة تساوي حاصل ضرب الجهد في التيار.

منحني التشبع لمحول التيار Saturation curve

يتم توصيل مصدر جهد متردد يمكن التحكم في قيمته إلى طرفي الملف الثانوي S1 & S2.

يتم رفع الجهد تدريجيا وتسجيل قيم الجهد والتيار في جدول حتى نصل إلى مرحلة التشبع حيث يتوقف الجهد عن الارتفاع بينما يزداد التيار بمعدل مرتفع.

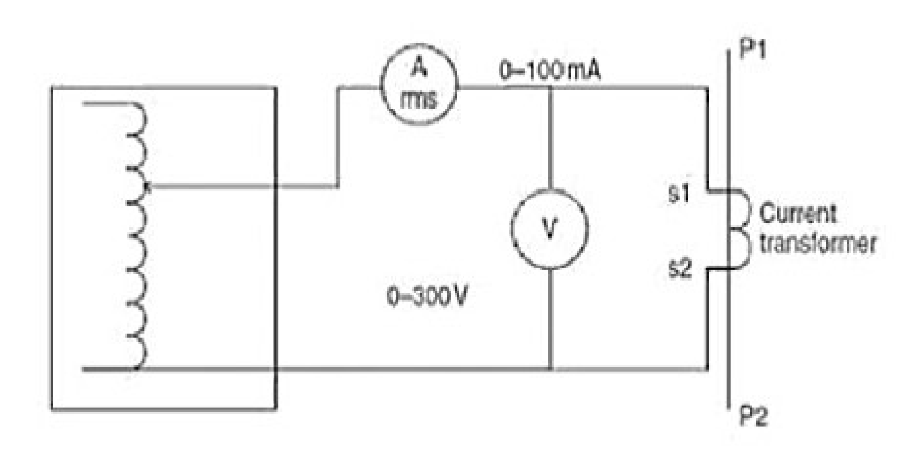
يتم رسم العلاقة بين الجهد والتيار كما في الرسم المرفق (الشكل 90)، ويتم من المنحني تحديد نقطة الخضوع Knee Point وهي النقطة على المنحني التي عندها إذا زادت قيمة الجهد بمقدار 10% تزداد قيمة التيار بمقدار 50%.



الشكل (90)

اختبار القطبية Polarity test

من المعروف أنه في محول التيار كأي محول يتولد فيه تيار بالحث في الملف الابتدائي [(H1 ، H2) أو (P1 ، P2)] والملف الثانوي [(X1 ، X2) أو (S1 ، S2)] ، ولكي يعمل المحول في الدائرة بصورة سليمة فلابد أن يكن اتجاه الفيض المتولد في الملف الابتدائي هو نفس اتجاه الفيض المتولد في الملف الثانوي، فإذا كان اتجاه التيار المتولد بالحث في الملف الابتدائي من H1 إلى H2 أو من P1 إلى P2 فلابد أن يكون اتجاه التيار المتولد بالحث في الملف الثانوي من X1 إلى X2 أو من S1 إلى S2، وعلى هذا الأساس يتم ترقيم القطبية لكل محول وللتأكد من صحة القطبية لأي محول أو يكون لدينا محول ليس له علامات تحدد القطبية وترقيم الملفات الابتدائية والثانوية يجب أن يحقق العلاقة التالية بين اتجاه التيارات في الملفين فعند ادخال التيار الابتدائي من P1 فإن التيار الثانوي يخرج من (S1).



الشكل (91)

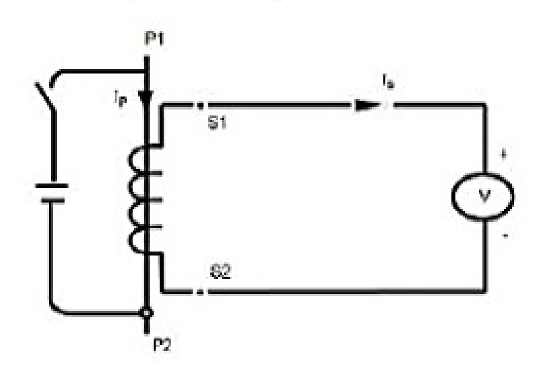
يتم التأكد من صحة ترقيم أطراف محول التياركالآتي :

الطريقة الأولى :-

1- يتم توصيل مصدر جهد مستمر ذو جهد مناسب (6 - 10 فولت) إلى طرفي الملف الابتدائي من خلال مفتاح توصيل بحيث يوصل الطرف الموجب إلى P1 والطرف السالب إلى P2 (الشكل 92).

2- توصيل أفوميتر تيار مستمر ذي مؤشر صفر تدريجه في الوسط إلى أطراف الملف الثانوي بحيث يوصل الطرف الموجب للأفوميتر مع S1 ويوصل الطرف السالب للأفوميتر مع S2.

3- يتم الضغط على المفتاح ضغطة سريعة مع ملاحظة حركة مؤشر الافوميتر فإذا كانت الحركة في اتجاه التدريج الموجب للأفوميتر كانت قطبية محول التيار سليمة وإذا كان العكس يتم عكس الطرفين S2 & S1.



الشكل (92)

الطريقة الثانية :

1- يتم توصيل مصدر جهد مستمر ذي جهد مناسب (6 - 10 فولت) إلى طرفي الملف الثانوي من خلال مفتاح توصيل بحيث يوصل الطرف الموجب مع X1 أو (S1) والطرف السالب مع X2 أو (S2).

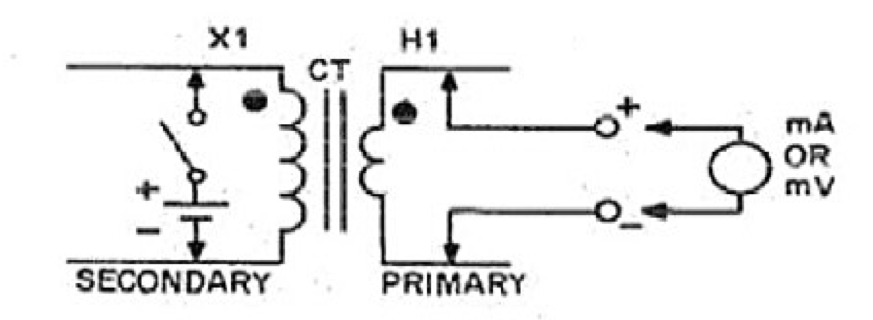
2- توصيل أفوميتر تيار مستمر على الملف الثانوي بحيث يوصل الطرف الموجب للأفوميتر مع H1 أو P1 بحيث يكون الطرف الموجب للأفوميتر

مواجه للناحية التي مكتوب عليها الحرف P1 ويوصل الطرف السالب للأفوميتر مع H2 أو P2 (أي كأن التيار يمر من الطرف الموجب للأفوميتر إلى الطرف السالب).

3- يتم الضغط على المفتاح ضغطة سريعة وملاحظة قراءة الأفوميتركالتالي :

أ- تكون القطبية سليمة عندما تزيد القراءة (تظهر قيمة على شاشة الأفوميتر) والمفتاح في حالة توصيل وتقل عند فصل المفتاح.

ب- تكون القطبية غيرسليمة عندما لا يكون هناك قراءة عند توصيل المفتاح وتزيد القراءة (تظهر قيمة على شاشة الأفوميتر) عند فصل المفتاح.



الشكل (93)

قصر طرفي محول التيار عند عدم اتصاله بالحمل

في محول التيار تتحدد قيمة تيار الابتدائي المار في الكابل أو الخط حسب ظروف الشبكة ولا دخل للملف الثانوي، أي أن تيار الابتدائي مستقل عن ظروف المحول بما فيها ظروف دائرته الثانوية، ولذلك يصمم محول التيار للعمل على فيض مغناطيسي متغير داخل القلب الحديدي وبالتالي على جهد متغير يتناسب مع تيار الحمل.

فيقوم معظم التيار الابتدائي بانتاج الفيض المغناطيسي في قلب المحول وتنشأ قوة دافعة مغناطيسية mmf تقوم بدفع الفيض في القلب الحديدي، ثم

يقطع هذا الفيض لفات الملف الثانوي فينشأ فيه تيار ثانوي، وهذا الفيض يقوم بتوليد قوة دافعة كهربية في ملفات الثانوي ويتولد تيار في الملف الثانوي ويقوم هذا التيار بتوليد قوة دافعة مغناطيسية جديدة mmf ومعاكسة لتلك الموجودة في الابتدائي، أي أن تيار الابتدائي يمثل في أغلبه تيار المغنطة. ويقوم تيار الحمل في الملف الثانوي بانتاج فيض مغناطيسي معاكس لفيض الابتدائي مما يحد من الفيض المحصل وبالتالي من الجهد على طرفي الملف الثانوي، وفي حالة فتح دائرة الثانوي لمحول التيار فإن تيار الثانوي ينعدم وينعدم معه التأثير المضاد للفيض المغناطيسي الكبير الناتج من تيار الابتدائي ذي القيمة العالية وبالتالي يرتفع فرق الجهد بين طرفي الثانوي المفتوحين إلى مستويات كبيرة جدا حسب المعادلة التالية:

$$e = L\, di / dt$$

حيث :

e = الجهد المتولد بالحث بالفولت.

L = معامل الحث للملف بالهنري.

di / dt = معامل تغير التيار بالنسبة للزمن.

وهذا الجهد العالي قد يسبب الآتي :

1- مخاطر كبيرة لمحول التيار أو الشخص المتعامل معه أو المعدة التي تحوي المحول أو المعدة المجاورة.

2- يتأثر القلب الحديدي للمحول في هذه الحالة بالقيمة العالية جدا للفيض المغناطيسي التي قد تؤدي إلى تعرضه للتشبع.

3- توليد مستويات عالية من الحرارة نتيجة التيارات الدوامية والتخلفية المغناطيسية.

وفي حالة حدوث Short Circuit or Over Load لا يمكن فصل الخطأ من خلال فيوز لأن ذلك سوف يودى إلى حدوث فتح فى الدائرة الثانوية، و لكن يتم الفصل من خلال أجهزة الوقاية.

اختيار محولات التيار :

هناك عدة عوامل يتم على أساسها اختيار محول التيار منها :

1- قيمة التيار الابتدائي Primary Current .

2- قيمة التيار الثانوي Secondary Current .

3- قيمة تيار القصر التي تسبب تشبع محول التيار.

1- أولا : قيمة التيار الابتدائي Primary Current

يجب أن تكون قيمة تيار الابتدائي Primary Current لمحول التيار أعلى من قيمة تيار الحمل الكامل Full Load Current، فإذا كان لدينا محول قدرته 1000 KVA وجهد الابتدائي 6.6 كيلو فولت فإن تيار الحمل الكامل يتم حسابه من المعادلة التالية :

$$I_{ps} = \frac{S}{\sqrt{3} \times U_S}$$

أي أن تيار الحمل الكامل = 87.5 أمبير

ومن الجدول التالي نجد أن القيمة المناسبة لتيار الابتدائي هي 100 أمبير .

(Primary service current (I_{ps}	(Primary rated current (I_{pr}
$I_{ps} < 15 > 10$	15
$I_{ps} < 20 > 15$	20
$I_{ps} < 30 > 20$	30
$I_{ps} < 50 > 30$	50
$I_{ps} < 75 > 50$	75
$I_{ps} < 100 > 10$	100
$I_{ps} < 150 > 100$	150
$I_{ps} < 200 > 150$	200
$I_{ps} < 250 > 200$	250
$I_{ps} < 300 > 250$	300
$I_{ps} < 400 > 300$	400
$I_{ps} < 500 > 400$	500
$I_{ps} < 600 > 500$	600
$I_{ps} < 750 > 600$	750
$I_{ps} < 1000 > 750$	1000
$I_{ps} < 1500 > 1250$	1500
$I_{ps} < 2000 > 1500$	2000
$I_{ps} < 2500 > 2000$	2500
$I_{ps} < 3000 > 2500$	3000
$I_{ps} < 3150 > 3000$	3150

2- ثانيا : قيمة التيار الثانوي Secondary Current

هناك قيمة ثابتة لتيار الملف الثانوي في محولات التيار، فإما أن تكون 5A أو تكون 1A، فتصمم محولات التيار ليكون دائما تيار الملف الثانوي في حدود أقل من 5A أو تكون 1A عند مرور التيار الطبيعي في الدائرة.

3- ثالثا : قيمة تيار القصر التي تسبب تشبع محول التيار

عند اختيار محول التيار لابد أن يراعى أن أقصى تيار قصر يمر خلال محول التيار ينتج تيارا في الجانب الثانوي لا يسبب تشبعا في القلب الحديدي الخاص بالمحول، وتنص المواصفات العالمية أن محول التيار يحدث له تشبع إذا مر خلاله 100 أمبير

ففي حالة المحول السابق الذي قدرته 1000 ك .ف .أ وجهد الابتدائي 6.6 ك.ف، فإذا كان جهد المعاوقة يساوي 5.75% فإن تيار الحمل الكامل كما ذكرنا يساوي 87.5 أمبير، وبالتالي فإن تيار القصر يمكن حسابه من المعادلة التالية:

$$I_{sc} = \frac{I_r}{U_{sc}}$$

فتيار القصر يساوي 1522 أمبير

فإذا كانت قيمة التيار الثانوي هي 5 فإن نسبة تحويل محول التيار المناسبة هي 5 / 100 (لأن 100 هي أقرب قيمة قياسية أعلى من 87.5). وفي هذه الحالة فإن هذه النسبة تنتج في الوضع الطبيعي تيارا يساوي :

$$(87.5 \times 5)/100 - 4.4\ A$$

وهذا التيار يكون في الحدود الطبيعية (أقل من 5 A)

كما أنها تنتج عند أقصى تيار قصر تيار قيمته :

$$I_{SC} = (1522 \times 5)/100 = 76.1\ A$$

وهو أقل من 100 أمبير لذلك لن تسبب تشبعا لمحول التيار، لذلك هذه النسبة 5 / 100 تكون مناسبة.

ثانيا - محول الجهد Potential Transformer (P.T)

يتكون محول الجهد من :

1- قلب حديدي.

2- ملف ابتدائي من عدد كبير جدا من اللفات.

3- ملف ثانوي مكون من عدد قليل جدا من اللفات.

وفي محول الجهد دائما يكون جهد الملف الابتدائي ثابتا (6600 فولت أو 11000 فولت أو ....) وبالتالي يصمم للعمل على فيض مغناطيسي ثابت.

وفي محول الجهد يتم حماية الدائرة الثانوية بفيوز لأنه من الطبيعي مرور تيار صغير جدا في الدائرة الثانوية لأن الأحمال هي فولتميتر و أجهزة الوقاية التي تحتاج إلى قياس الجهد و لذلك فإن الدائرة الثانوية تكون تقريبا Open Circuit، ففي حالة مرور تيار كبير في الدائرة الثانوية معنى ذلك حدوث Short Circuit ولذلك يجب فصله و يتم ذلك من خلال الفيوز.

والغرض من هذه المحولات هو توفير وسيلة لقياس الجهود العالية باستخدام أجهزة قياس حساسة تستخدم مع الجهد المنخفض وكذلك تعمل مع أجهزة الحماية والتحكم.

يستخدم محول الجهد لخفض جهد الخط من قيمة عالية إلى قيمة صغيرة بحيث يكون الحد الأقصى لجهد الملف الثانوي 110 فولت ومحول الجهد مصمم بحيث يكون الملف الابتدائي متصلا على التوازي مع جهد الخط وتكون أجهزة الحماية والقياس والتحكم مع الملف الثانوي.



الشكل (94)

اختبار القطبية لمحولات الجهد Polarity Test :

لابد أن يكون اتجاه الفيض المتولد في الملف الابتدائي(H1 ، H2) أو (P1 ، P2) هو نفس اتجاه الفيض المتولد في الملف الثانوي (X1 ، X2) أو (S1 ، S2)، فإذا كان اتجاه الجهد المتولد بالحث في الملف الابتدائي من H1 إلى H2 أو من P1 إلى P2 فلابد أن يكون اتجاه الجهد المتولد بالحث في الملف الثانوي من X1 إلى X2 أو من S1 إلى S2 وعلى هذا الأساس يتم ترقيم القطبية لكل محول، وللتأكد من صحة القطبية لأي محول أو يكون لدينا محول ليس له علامات تحدد القطبية نفترض أن لدينا محول جهد بياناته كالتالي :

1- الملف الابتدائي H1 ، H2 والجهد الابتدائي 480 فولت.

2- الملف الثانوي X1 ، X2 والجهد الثانوي 120 فولت.

3- نسبة التحويل لهذا المحول هي120 / 480 = 4 .

ولعمل اختبار تحديد القطبية لهذا المحول نتبع الخطوات التالية :

1- عمل كوبري Jumper بين النقطتين H1 و X1.

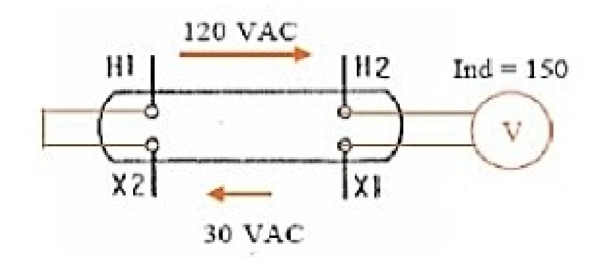
2- تسليط جهد متردد 120 فولت على طرفي الملف الابتدائي.

3- قياس الجهد على الملف الثانوي من المفروض أن يكون4 / 120 = 30.

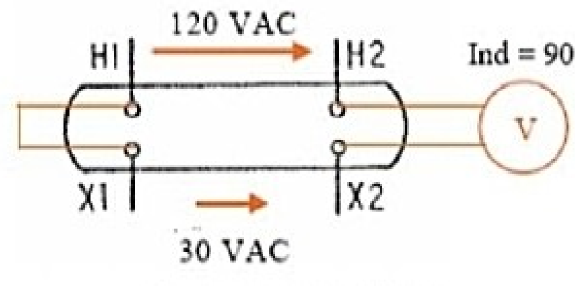
4- قياس الجهد بين النقطتين H2 ، X2 فإذا كان يساوي 90 فولت فتكون القطبية معكوسة.

5- عمل كوبري Jumper بين النقطتين H1 و X2 ونكرر نفس الخطوات.

6- قياس الجهد بين النقطتين X1 ، H2 فإذا كان يساوي 150 فولت فتكون القطبية سليمة.



الحالة الأولى القطبية سليمة



الحالة الثانية القطبية معكوسة

الشكل (95)

الفصل الثالث

المحولات الخاصة

هناك بعض المحولات تستخدم لأغراض خاصة، تختلف عن المحولات Power transformer من حيث المواصفات والتصميم والتركيب، ومن هذه المحولات:

1– المحولات الذاتية Auto transformers .

2– محولات التنظيم Regulating transformers .

3– محولات التوحيد (التقويم) Rectifier transformers .

4– محولات Phase shifting transformers .

5– المفاعلات Reactors .

6– محولات اللحام Welding transformers .

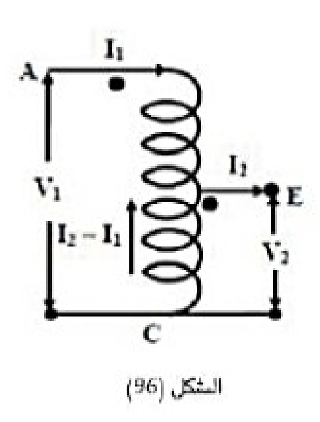
7– محولات Short circuit testing transformers .

8– محولات Buck transformers -Booster .

9– محولات Grounding transformers

1- المحولات ذاتية Auto Transformers :

المحولات الذاتية هي المحولات التي لها ملف واحد يشترك فيه الجهد الابتدائي والجهد الثانوي فيتكون المحول في هذه الحالة من ملف واحد ويقسم هذا الملف بنسب معينة حسب الجهد المطلوب.

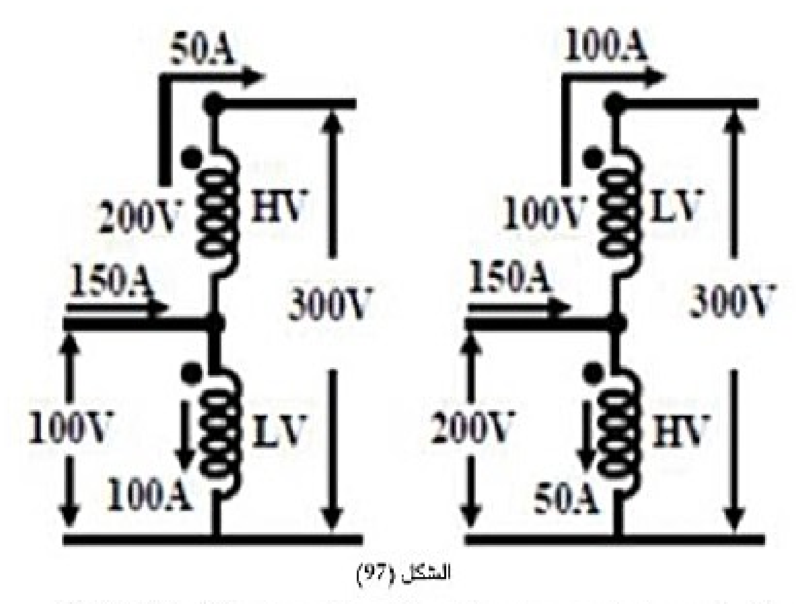


الشكل (96)

فنلاحظ في هذا النوع من المحولات أن جزء من الملف الابتدائي يعمل مشتركا بين ملف الجهد العالي وملف الجهد المنخفض، ويكون تيار الابتدائي والثانوي متضادين في الجزء المشترك بينهما، لذلك تنخفض قيمة التيار في هذا الجزء وبالتالي ينخفض الفقد في الطاقة في هذا الجزء مما يزيد من كفاءة المحول، ونتيجة لانخفاض التيار تقل مساحة مقطع السلك في هذا الجزء المشترك مما يساعد على وفر النحاس وتقليل وزن المحول.

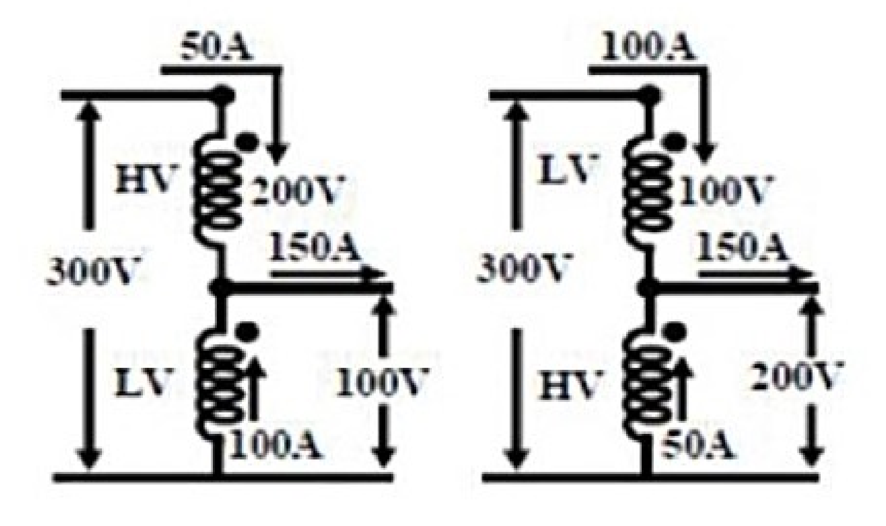
العلاقة بين المحول العادي والمحول الذاتي :

نفرض أن لدينا محولا عاديا جهده 100 V / 200 وقدرته 10 KVA ، فهذا يعني أن التيار الاسمي في جهة الجهد العالي سيكون 50 أمبير والتيار الاسمي في جهة الجهد المنخفض سيكون 100 أمبير فإذا تم توصيل الملفين معا كهربيا ليصبحا ملفا واحدا أي حولنا المحول العادي إلى محول ذاتي ويمكن الحصول على محول رافع إذا تم التوصيل بالطريقة التالية:



الشكل (97)

ويمكن الحصول على محول خافض إذا تم التوصيل بالطريقة التالية:



الشكل (98)

مميزات المحولات ذاتية Auto Transformers :

1- جودة عالية في حدود التشغيل المسموح به.

2- يوفر في حجم المحول وحجم النحاس المستخدم.

3- المفاقيد النحاسية قليلة قليلة جدا إذا ما قورنت بالمحولات الأخرى.

عيوب المحولات ذاتية Auto Transformers :

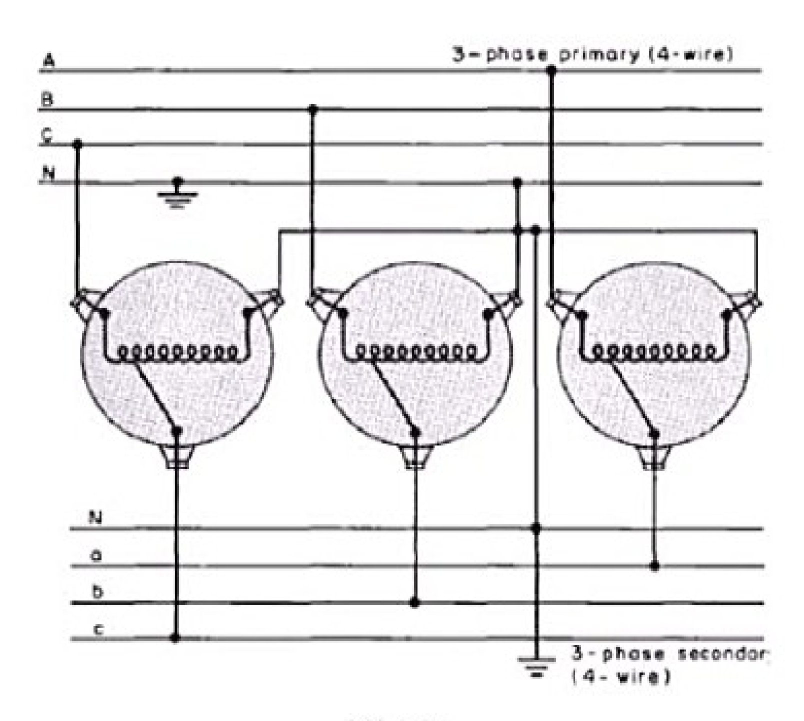
1- يمثل أخطارا في حالة استخدامه في دوائر الجهد العالي لأن دائرة الملف الثانوي جزء من الملف الابتدائي ذي الجهد العالي، فكل موجات الجهد العالي Overvoltage تنتقل بالتوصيل إلى جانب الملف الثانوي، حيث تنعزل فيها ملفات الابتدائي عن ملفات الثانوي عن طريق القلب الحديد كما في المحولات العادية التي

2- في حالة استخدامه بنسبة تحويل مرتفعة تقل كفاءته ويصبح غير اقتصادي في التشغيل.

3- يؤدي قلة الفيض المتسرب فيه إلى انخفاض قيمة الممانعة Inductance، وبالتالي تضعف قيمة معاوقته لتيار القصر وهذا هو السبب في احتياج هذا النوع من المحولات لوجود ملف Reactor معه في أغلب الأحيان.

4- لا تستخدم المحولات الذاتية في محطات محولات التوزيع، وذلك لأن في المحول الذاتي يكون ملف الجهد العالي وملف الجهد المنخفض متصلين معا ويشتركان في توصيلة نقطة التعادل، فإذا حدث فصل لتوصيلة نقطة التعادل لأي سبب ظهر الجهد العالي كله على أطراف الجهد المنخفض، فسوف تحدث مشاكل كبيرة جدا ودمار إذا تعرضت أجهزة وكابلات وأي مهمات مصممة للعمل على 220 فولت لجهد مقداره 6600 فولت أو 11000 فولت، لذلك لا يستخدم المحول الذاتي كمحول توزيع نهائيا، أي محولات التوزيع تكون دائما محولات ذات ملفين لأغراض الأمن والسلامة.

5- لا تستخدم المحولات الذاتية بعد المولد، ودائما يكون أول محول بعد المولد محولا ذا ملفين، وذلك لعزل الجهود العالية التي قد تنشأ في خطوط النقل نتيجة الصواعق أو أي جهود عابرة أو أثناء الفصل والتوصيل.



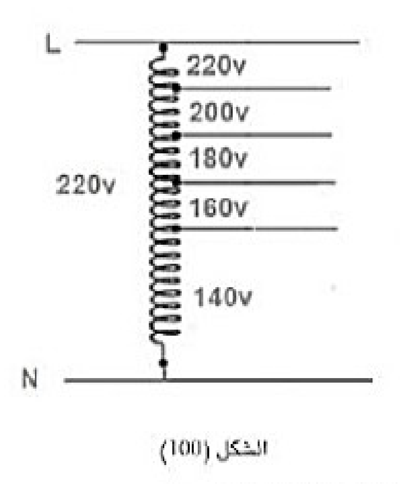
الشكل (99)

استخدامات المحولات الذاتية :

1- محولات وجه واحد، له أكثر من خرج

ومن أمثلة المحول الذاتي أحادي الوجه وله أكثر من خرج مفتاح مروحة السقف ومحول الثلاجة حيث إن محرك الثلاجة مصمم على جهد تشغيل معين فإذا قل جهد المصدر عن قيمة معينة فمن الممكن أن يحترق الموتور (في حالة عدم وجود حمايات كافية) وذلك لأن عزم الدوران يتناسب مع مربع الجهد ($T \propto V^2$) فعند نقص الجهد بنسبة ما فإن العزم يقل بمربع هذه النسبة ويتراكم غاز الفريون ولا يستطيع المحرك كبس الغاز فيتوقف المحرك ويزيد التيار ويعمل على زيادة درجة الحرارة، الزيادة في درجة الحرارة تعمل على احتراق مادة العزل فيحدث قصر بين الملفات وإذا كانت الملفات ضعيفة فالحرارة تعمل على حرق الملفات مباشرة، لذلك يتم استخدام المحول الذاتي حيث يكون له أكثر

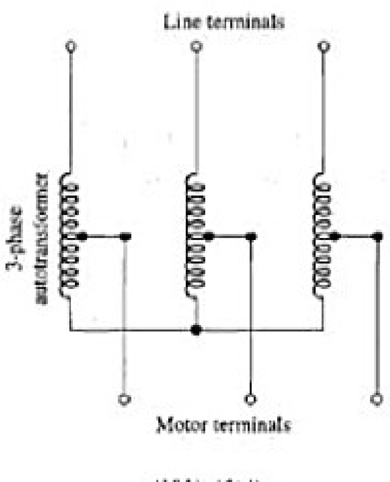
من دخل (140 فولت – 160 فولت – 180 فولت – 200 فولت – 220 فولت) وله خرج واحد 220 فولت، وعن طريق معرفة جهد المصدر يتم التوصيل على الجهد المقارب لجهد المصدر ويكن دائما الخرج ثابت وهو 220 فولت .



الشكل (100)

2- دوائر البدء للمحركات ثلاثية الوجه

في هذه الطريقة يتم توصيل أطراف العضو الثابت إلى محول ذاتي ثلاثي الأوجه بحيث يخفض الجهد المسلط على ملفات العضو الثابت إلى قيمة تتناسب مع تيار البدء المسموح به. وبعد مرور فترة البدء يتم تسليط جهد المصدر كاملا على ملفات العضو الثابت وذلك بفصل المحول.



الشكل (101)

3– نقل الطاقة بين الشبكات

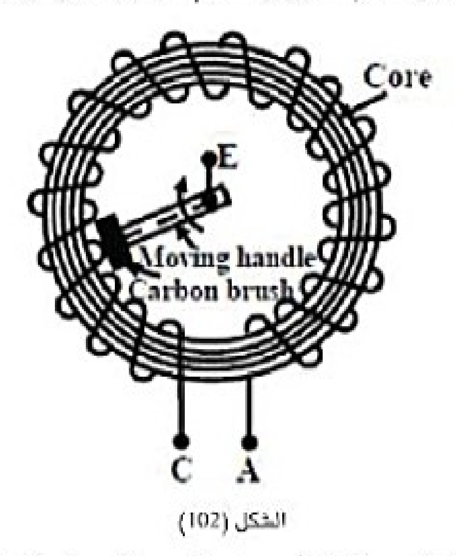
تستخدم المحولات الذاتية في تطبيقات الجهد العالي لتبادل الطاقة بين الشبكات الرئيسية والفرعية من شبكة 500 ك.ف إلى 220 ك.ف في محطات محولات النقل حيث يتم تحويل الجهود من مستوى جهد عالٍ إلى مستوى جهد عالٍ آخر، حيث تكون نسبة التحويل Turnes ratio في هذا النوع 3 إلى 1.

2 - **محولات التنظيم** Regulating transformers

بعض الأحمال الإلكترونية وخصوصا الكمبيوتر لا تعمل عند انخفاض الجهد عن قيمة الجهد الاسمي؛ لذا تستخدم محولات التنظيم في تثبيت الجهد، أي الحصول على جهد كهربي أقرب ما يكون إلى الجهد الاسمي للشبكة Rated voltage، ويسمى هذا النوع من المحولات مثبتات الجهد Stabilizer بحيث تقوم بجعل جهد الخروج دائما ثابتا وذلك في حالة انخفاض الجهد نتيجة التحميل الزائد أو بعد الأحمال عن مصدر التغذية أو عدم انتظام جهد المصدر.

فالمحول عبارة عن ملف ملفوف حول قلب مستدير على هيئة أسطوانة ترتكز في محورها على محور ثابت، بحيث تدور أسطوانة الملفات حوله بسهولة، ويتم استخدام دائرة إلكترونية تحس بانخفاض أو زيادة الجهد فتقوم بتشغيل محرك

يقوم بتحريك الأسطوانة عن طريق مجموعة تروس ليتم رفع أو خفض الجهد، وعند وصول الجهد إلى القيم الطبيعية تقوم الدائرة الإليكترونية بفصل المحرك



الشكل (102)

وكذلك يتم استخدام هذا النوع من المحولات في نهاية خطوط النقل Transmission line، ففي نهاية خطوط النقل يكون جهد الاستقبال إما أكبر من جهد الإرسال (في حالة عدم التحميل) أو يكون جهد الإستقبال أقل من جهد الإرسال (في حالة الأحمال الزائدة وحدوث هبوط في الجهد الناتج عن المسافات الطويلة لخطوط النقل).

فللمحافظة على الجهود عند قيم ثابتة يتم استخدام هذا النوع من المحولات ويكون به مغير الجهد على حمل On load tab changer يكون به عدد خطوات كبير لتغيير الجهد حتى يتم الوصول إلى الجهد المطلوب.

3- **محولات التوحيد (التقويم)** Rectifier transformers

محولات التوحيد هي المحولات التي تحتوي على الموحدات Diodes والثايرستورات Thyristors داخل نفس الخزان في المحولات الزيتية أو تكون عبارة عن مكون واحد في الحولات الجافة، بحيث يكون خرج هذه المحولات

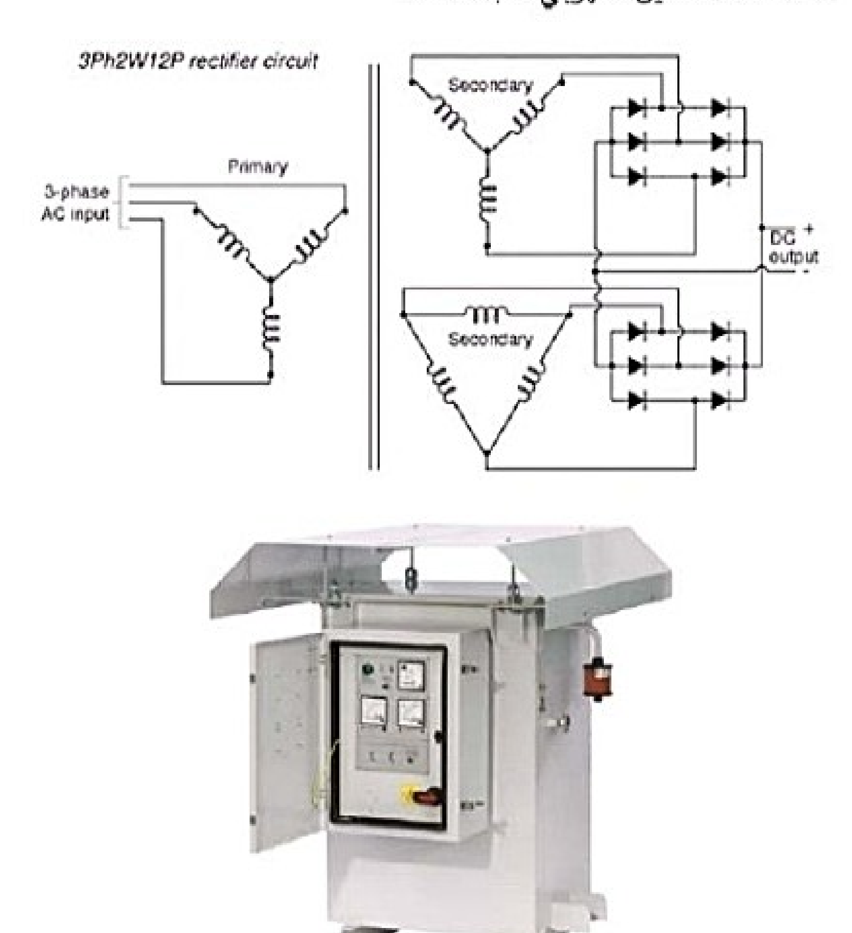
جهد مستمر Direct voltage ويتم استخدامه في الأغراض التالية :

1- أنظمة الحماية الكاثودية Cathodic protection systems

2- الأجهزة الكهربائية والإليكترونية Adapters, Amplifiers

3- مغيرات السرعة الكبيرة Large variable speed drives

4- أنظمة التحليل الكهربي Electrolysis



الشكل (103)

4- **محولات** (PST) Phase shifting transformers

الفكرة الأساسية لهذه المحولات مبنية على أساس معادلة نقل القدرة بين نقطتين:

$$P = \frac{|V_s|\ |V_r|}{X_L} \sin\delta$$

حيث إن :

VS : **جهد الإرسال**   Vr : **جهد الإستقبال**

δ : **زاوية الوجه**   XL : **ممانعة خط النقل**

فعن طريق استخدام محول PST **يتم إضافة** XPST **لتكون على التوالي مع** XL **كما تضاف الزاوية** α **إلى الزاوية** δ.

$$P = \frac{|V_s|\ |V_r|}{X_L + X_{PST}} \sin(\delta + \alpha)$$

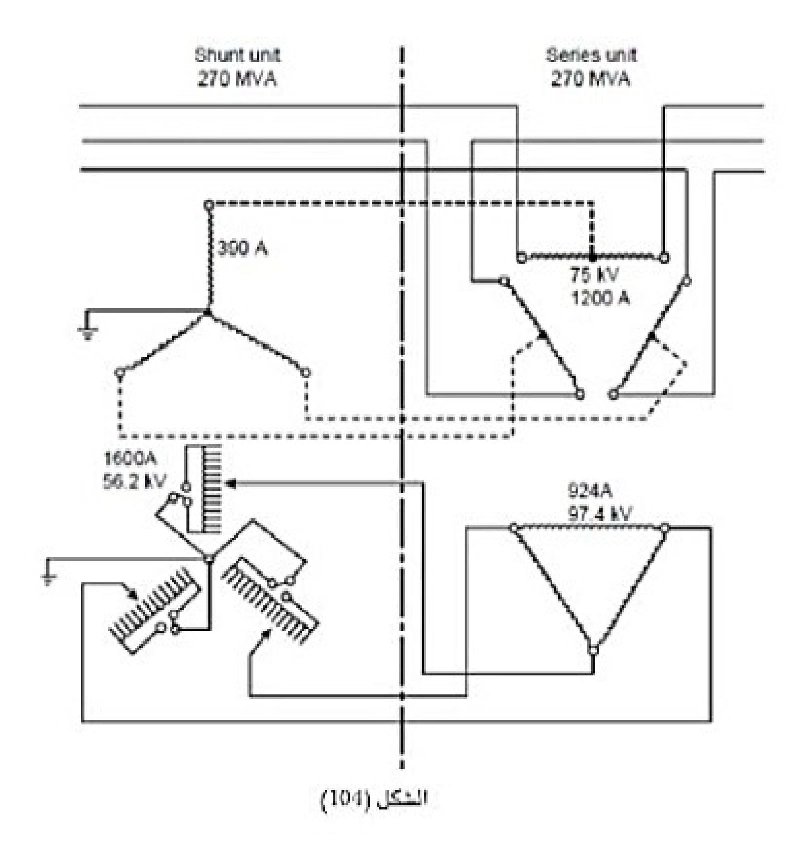
ومن هذه المعادلة يمكن التحكم في القدرة المنقولة عن طريق تغيير الزاوية أو الجهد أو كليهما، فعن طرق هذا المحول يمكن تغيير الـ Turns ratio **له بنسب صغيرة تكفي لعمل فرق بين جهد النقطتين بالزيادة أو بالنقصان، ومن ثم يتغير اتجاه سريان القدرة، كما يمكننا تغيير الـ**Phase **أيضا.**

والشكل (106) يوضح مكونات الـ PST **كالتالي :**

1- **محول إثارة** Excitation transformer : **يقوم بتعديل زاوية الوجه عن طريق إضافة جهد متغير** Variable voltage **على التوالي مع خط النقل** Transmission line.

2- **محول تعزيز** Boosting transformer : **فيتم إضافة ممانعة** XPST **على التوالي مع خط النقل.**

4- **مجموعة مفاتيح ميكانيكية** Set of mechanical switches : **حيث يتم التحكم في مقدار الجهد عن طريق مفاتيح مغير الخطوة** Tap changer.



الشكل (104)

لهذا النوع من المحولات استخدامات كثيرة منها :

1- تقسيم الأحمال في الخطوط المتوازية Load sharing of parallel lines

عند ربط محطتين معا بواسطة خطين على التوازي، فيجب أن يكون الخطان متماثلين تماما في كل شئ سواء في الطول أو في قيم المعاوقةImpedance حتى يتم توزيع التيار بينهما بالتساوي، فإذا حدث اختلاف بين الخطين فإن القدرة المنقولة خلالهما تتوزع بالنسبة العكسية للمعاوقة، فالخط الذي له معاوقة صغيرة سيمر به قدرة أكبر والعكس صحيح وقد يسبب ذلك حدوث زيادة في الحمل على أحد الخطوط Overloading وبالتالي نفقد ميزة النقل على خطين متوازيين.

2- عند وجود محطتين أو نظامين Two systems مربوطين Coupled عن طريق خطوط نقل Transmission lines طويلة ومحملة بأحمال عالية Highly loaded وحدث فصل لأحد الخطين فسوف يحدث فرق في الطورPhase difference يجعل من الصعوبة تشغيل الخطين على التوازي مرة أخرى مباشرة، لذا يتم الانتظار لفترة التحميل الخفيف Low – load period بحيث تكون فرق زاوية الطور أقل ما يمكن ويعاد تشغيل المفتاح Less phase angle difference، **لذا يتم استخدام هذا النوع من المحولات لتعوض زاوية فرق الطور والتشغيل مباشرة.**

3- عند الربط بين دولتين لهما خصائص كهربية مختلفة لشبكتيهما، فقد نحتاج إلى التحكم في القدرة المنقولة بينهما سواءا في قيمتها أو في اتجاهها.

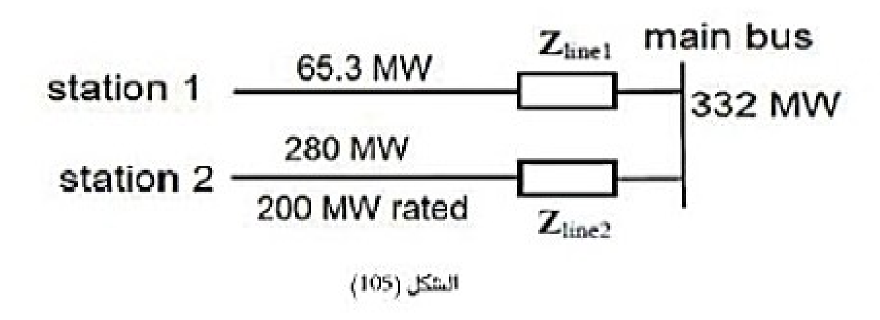
مثال لاستخدام محول Phase shift transformer (PST)

تقسيم الأحمال في الخطوط المتوازية Load sharing of parallel lines

1- عند ربط محطتين معا بواسطة خطين متوازيين بالشكل (105)، وكان هناك فرق في قيم المعاوقة Impedance وكان مجموع القدرة المنقولة عند الموزع العمومي Main bus هو 332 ميجاوات.

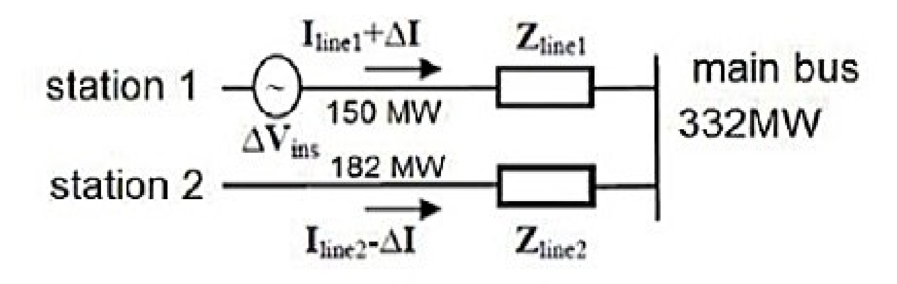
2- القدرة المنقولة بالخط الاول 65.3 ميجاوات

3- القدرة المنقولة بالخط الثاني 280 ميجاوات في حين أن القدرة المقننة لهذا الخط هي 200 ميجاوات، لذلك فإن هذا الخط سيكون محملا تحميلا زائدا Over loaded (القدرة المنقولة خلالهما تتوزع بالنسبة العكسية للمعاوقة) فالخط الذي له معاوقة صغيرة سيمر به قدرة أكبر.



الشكل (105)

4- فلعلاج هذه المشكلة يتم تركيب محول PST عند المحطة رقم 1 (Station # 1)، وعن طريق تغير الزاوية والمعاوقة يتم زيادة القدرة المنقولة بالخط المتصل بالمحطة رقم 1 إلى 150 ميجاوات في نفس الاتجاه، وتقل القدرة المنقولة بالخط المتصل بالمحطة رقم 2 إلى 182 ميجاوات وهي قيمة أقل من القيمة المقننة، وبالتالي يصبح الخط غير محمل تحميلا زائدا.



الشكل (106)

5- **المفاعلات** Reactors

المفاعلات يمكن اعتبارها ضمن عائلة المحولات، فهي عبارة عن ملف واحد، يلف علي قلب حديدي وفي بعض الحالات تبرد المفاعلات بالهواء وفي حالات أخرى تبرد بالزيت ويوجد نوعان من المفاعلات هما :

1- مفاعلات التوالي Series reactors : وهي توصل على التوالي مع النظام Power system ويكون لها الفوائد التالية :

أ- الحد من تيارات القصر Limiting short circuit current

ب- الحد من التيار الاندفاعي limiting inrush currents

ت- تأريض نقطة التعادل Neutral grounding reactors

ث- الحد من التيارات العالية limiting current surges with fluctuating loads

ج- تنعيم موجة التيار Smoothing the current waveform



ملف توالي

الشكل (107)

2– مفاعلات التوازي Shunt reactors : وهي توصل على التوازي مع النظام Power system ويكون لها الفوائد التالية :

أ– تعويض القدرة الغير فعالة Reactive power compensation lines.

ففى حالة الأحمال الخفيفة (light loads) أو فى حالة فقدان الحمل، تكون القدره غير الفعالة المسحوبة صفرا أو قليلة للغاية ولكن المكثفات بين فازات الكابل تعطى قدرة غير فعالة لا يتم استهلاكها، وهذه القدرة غير الفعالة الزائدة تعمل على زيادة جهد الخط عند نهايته، وحيث إن المعدات الكهربية تتحمل مقدارا مقننا من الجهد عليها ولا يمكن زيادة قيمة الجهد عن تلك القيمة المقننة، لذا يجب التغلب على هذه الظاهرة عن طريق استخدام ملفات Shunt Reactors على التوازى مع الخط لتقليل سعوية الخط.

ب- تستخدم في مرشحات التوازي Shunt harmonic filters.





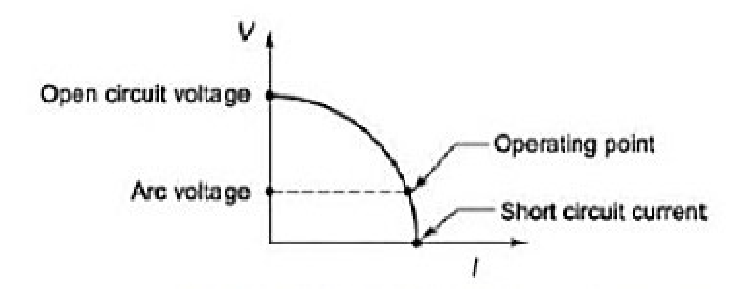
الشكل (108) ملف توازي



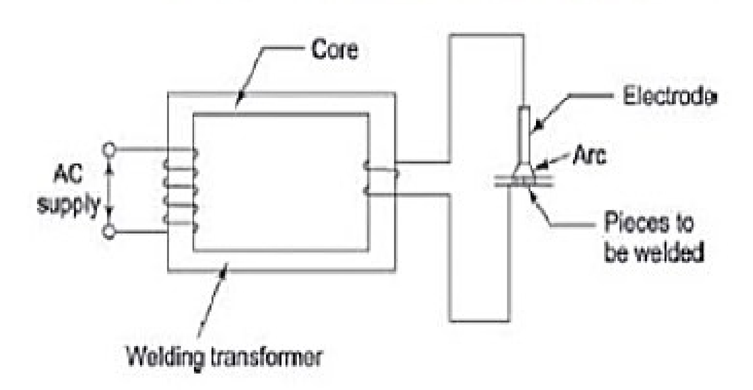
الشكل (109)

6- **محولات اللحام** Welding transformers

محولات اللحام تعتبر من المحولات الخاصة، فالملف الابتدائي يتكون من عدد كبير جدا من اللفات ذات مقطع صغير (جهد كبير وتيار صغير) والملف الثانوي يتكون من عدد قليل من اللفات ذات مقطع كبير، لأن الجهد يكون في الملف الثانوي صغيرا ويكون التيار كبيرا جدا، ويكون أحد أطراف الملف الثانوي متصلا بقطب اللحام Welding electrode والطرف الثاني يكون متصلا بالمعدن الذي سوف يتم اللحام فيه، بحيث يتم عمل دائرة مغلقة، وعند البدء في عملية اللحام (اتصال قطب اللحام بالمعدن) فتكتمل الدائرة ويمر تيار عالي جدا ونتيجة لهذا التيار تتولد حرارة عالية جدا تقوم بصهر أو إذابة طرف قطب اللحام فيتم ملء الفجوة بين الجزأين المراد لحامهما.



Volt-ampere Characteristic of a Welding Transformer

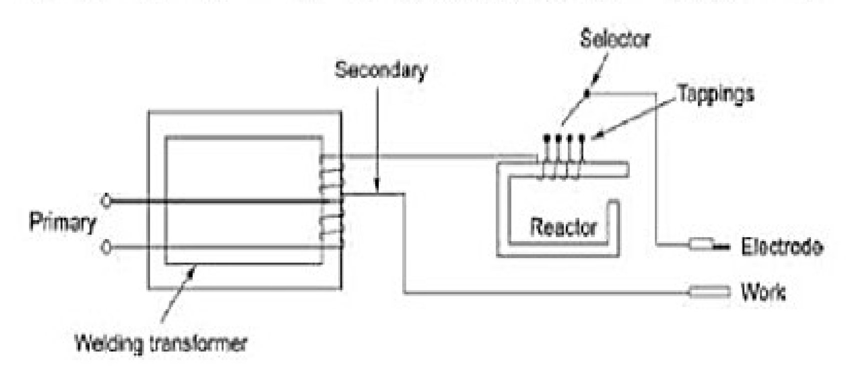


الشكل (110)

ولكي يتم التحكم في القوس الكهربي Arc المستخدم في اللحام يتم استخدام أنواع متعددة من المفاعلات Reactors يتم توصيلها مع الملف الثانوي لمحول اللحام منها.

1- المفاعل ذو الخطوة Tapped Reactors:

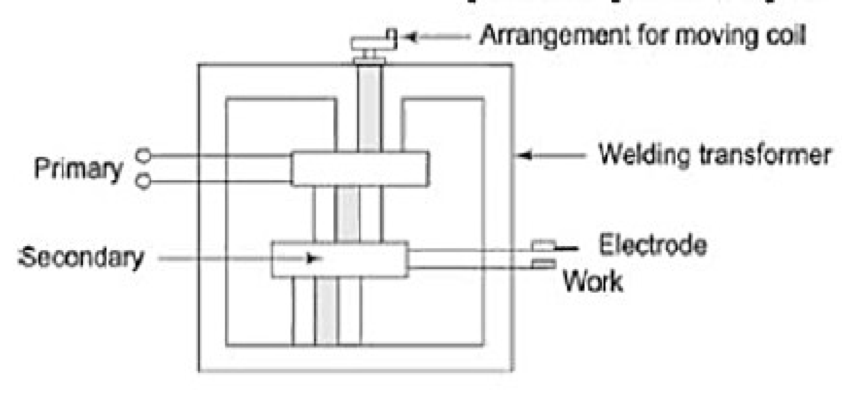
ففي هذا النوع يتم التحكم في تيار الخرج عن طريق تغير خطوات المفاعل كما في الشكل التالي :



الشكل (111)

2- المفاعل ذو الملف المتحرك Moving Coil Reactor:

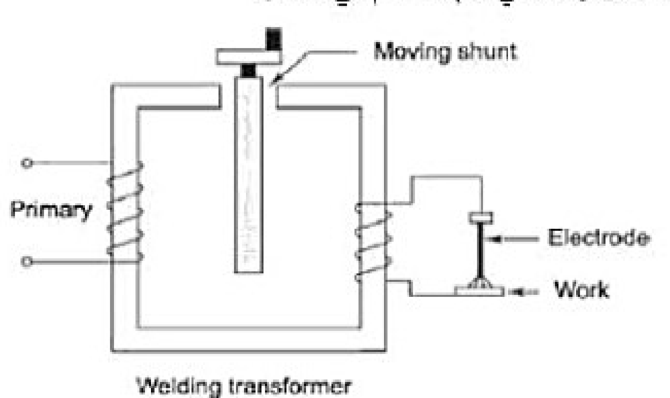
في هذا النوع يتم التحكم في تيار الخرج عن طريق التحكم في المسافة بين الملف الابتدائي والملف الثانوي عن طريق تحريك ملف المفاعل بين ملفي المحول، فيكون التيار صغيرا عندما تكون المسافة بين الملف الابتدائي والملف الثانوي كبيرة كما في الشكل التالي :



الشكل (112)

3- مفاعل التوازي المتحرك Moving Shunt Reactor:

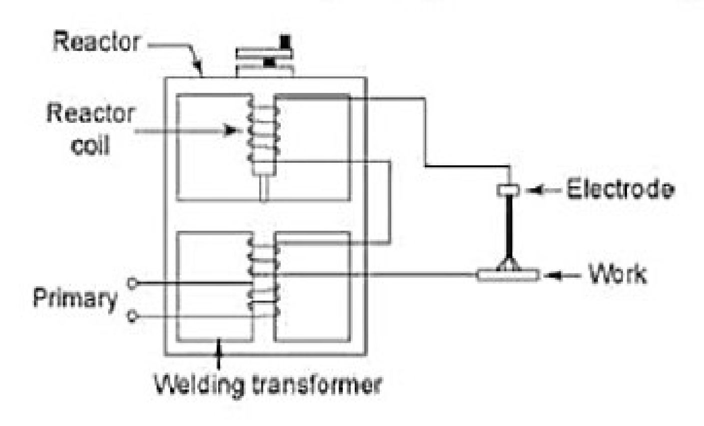
في هذا النوع يتم التحكم في تيار الخرج عن طريق التحكم في ضبط مركز المغناطيسية Central Magnetic عن طريق تحريك المفاعل وهذا بدوره يقوم بضبط الفيض وبالتالي يتم التحكم في التيار.



الشكل (113)

4- مفاعل متغير باستمرار Continuously Variable Reactor:

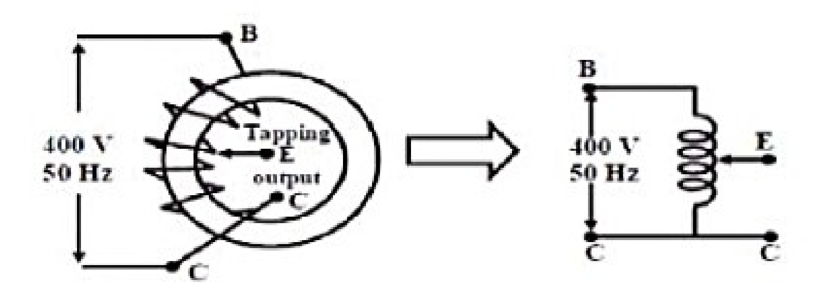
في هذا النوع يكون المفاعل متغيرا باستمرار، فعند دخول المفاعل لمسافة كبيرة تزيد الممانعة Reactance ويقل التيار.



الشكل (114)

14- محولات Short circuit testing transformers

وهو يعتبر من المحولات الذاتية، فالمحول عبارة عن ملف ملفوف حول قلب مستدير على هيئة أسطوانة، مثبت عليها موصل منزلق Sliding contact يدور حول الأسطوانة ويلامس الملفات عن طريق فرش كربونية ليعطي قيما مختلفة للجهد ويسمى ڤارياك Variac.



الشكل (115)

فلو فرضنا أن الملف BC عدد لفاته 200 لفة، ملفوف حول قلب حديدي وعليه جهد قدره 400 فولت، فإن جهد اللفة يساوي 2 فولت لكل لفة، فلو أخذنا Tap من أي نقطة فإن جهد هذه النقطة سيتناسب مع عدد اللفات، فلو كانت النقطة E في منتصف الملف فسيكون جهدها يساوي 200 فولت.



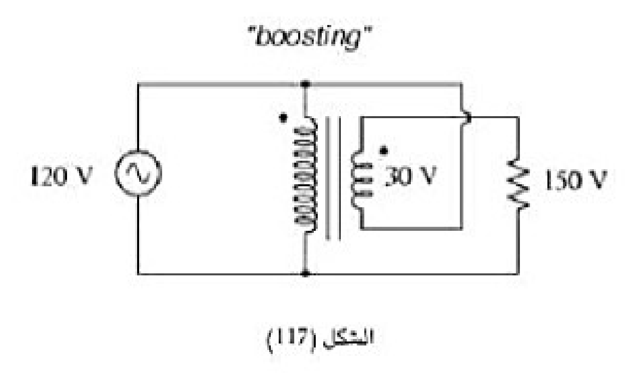


الشكل (116)

8- محولات التعزيز والاختزال Boost – Buck transformers

1- محولات التعزيز Booster transformers:

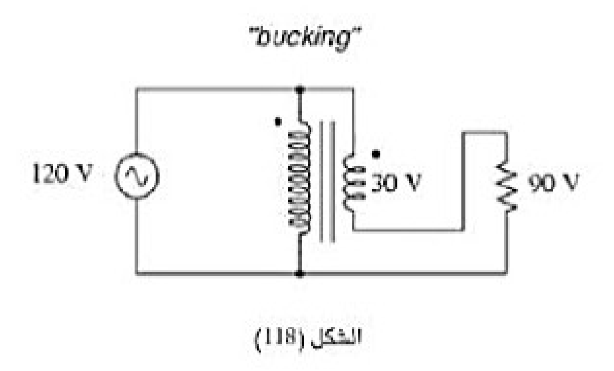
تعرف دوائر البوستر بأنها معززات للجهد، أي أنها تقوم بعمل زيادة للجهد، فهو عبارة عن ملف يتصل بدايته مع نهاية الملف الأصلي بحيث يلف كلا الملفين على نفس القلب الحديدي، فعندما يمر التيار في الملف الثانوي يختزن الجهد حسب عدد لفاته، ثم يقوم الملف الثانوي بتعزيز الجهد المار بالملف الابتدائي عن طريق إفراغ الجهد الموجود به وحيث إن الملف الثانوي ملفوف في نفس اتجاه الملف الابتدائي فإن قيمة الجهد تضاف لقيمة الجهد الموجود بالملف الابتدائي.



الشكل (117)

2- محولات الاختزال Buck transformers:

تعرف دوائر الاختزال بأنها تخفض الجهد، فهو عبارة عن ملف يتصل نهايته مع نهاية الملف الأصلي بحيث يلف كلا الملفين على نفس القلب الحديدي، فعندما يمر التيار في الملف الثانوي يختزن الجهد حسب عدد لفاته، ثم يقوم الملف الثانوي بتخفيض الجهد المار بالملف الابتدائي عن طريق اختزال الجهد الموجود به وحيث إن الملف الثانوي ملفوف في عكس اتجاه الملف الابتدائي فإن قيمة الجهد تطرح من قيمة الجهد الموجود بالملف الابتدائي.



الشكل (118)

16- **محولات التأريض** Grounding transformers

تعتبر أعطال القصر الأرضي Ground or Earth fault في الشبكات الكهربية من الأعطال غير متزنة أو غير متماثلة Unbalanced or Unsymmetrical faults، ويمكن تحليل مركبات التيار غير المتزنة إلى ثلاثة نظم متزنة، وهذه النظم المتزنة عبارة عن :

1- مركبة التعاقب الموجب Positive sequence components

2- مركبة التعاقب السالب Negative sequence components

3- مركبة التعاقب الصفري Zero sequence components

عندما تكون الأحمال متصلة على شكل دلتا، فإن تيار القصر الأرضي لا يجد مسارا لعودته وبالتالي يمر داخل توصيلة الدلتا في مسار مغلق ولا يحتوي على مركبة صفرية عند تحليله، أي أنه إذا لم يوجد مسار مع الأرض لعودة التيار فإن تحليل المركبات يكون عبارة عن مركبة سالبة ومركبة موجبة فقط، فمثلا تكون المحولات في محطات محولات النقل متصلة بطريقة نجمة معزولة أي غير مؤرضة و في نظم النقل الفرعية تكون متصلة دلتا لرفع معاوقة التتابع الصفري ففي حالة الأخطاء الأرضية تعتبر هذه الأنظمة أنظمة معزولة Isolated system ولا يوجد فيها مسار لرجوع تيار العطل الأرضي، لذلك لا يمر تيار أصلا لذلك يحدث ارتفاع للجهد على الفازين الأخرين Two phases بنسبة 173% و لعلاج هذه المشكلة يتم تأريض مثل هذه النظم باستخدام محولات التأريض

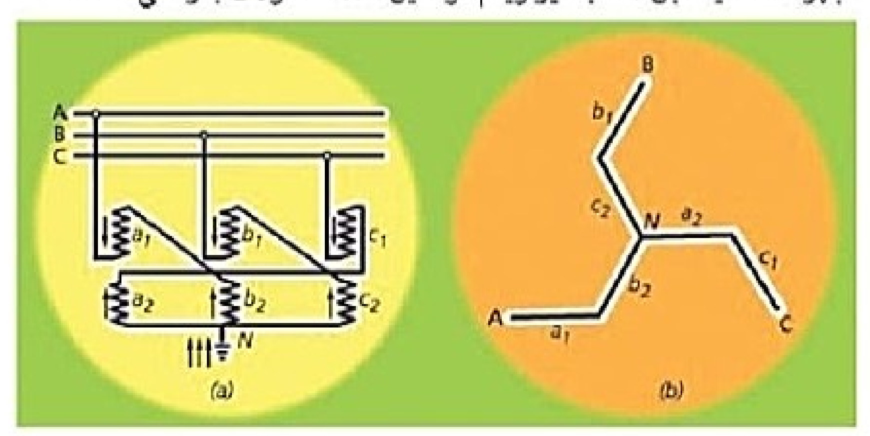
Earthing transformers ووظيفة هذه المحولات هو تخليق نقطة تأريض للحد من تيارات القصر الأرضية إلى قيمة التيار المقنن لخط التعادل وتستخدم للتأريض فقط أي لا يتم تحميلها بأي أحمال، ولذلك فهي صغيرة الحجم، وهناك نوعان من محولات التأريض هما :

1- محول الزجزاج

2- محول ستار - دلتا

أولا : محول الزجزاج

في بعض الأحيان يكون محول الزجزاج له ملف واحد فقط، أي لا يتم تقسيمه إلى ملف ابتدائي وملف ثانوي، ويتم تحديد مقننات أوقدرات هذه المحولات لتتحمل مرور التيار بها لمدة لا تزيد على خمس دقائق حيث يجب أن تعمل أجهزة الحماية قبل ذلك بكثير ويتم توصيل هذه المحولات بأرضي المحطة.



الشكل (119)

محول الزجزاج يشبه في تركيبه محول ثلاثي الأوجه من النوع ذي القلب الحديدي، ولكنه يحتوي على ملف واحد على كل رجل من أرجل القلب وينقسم الملف إلى جزأين وهو متصل داخليا، ويكون عادة مغمورا في الزيت كما في الشكل التالي:

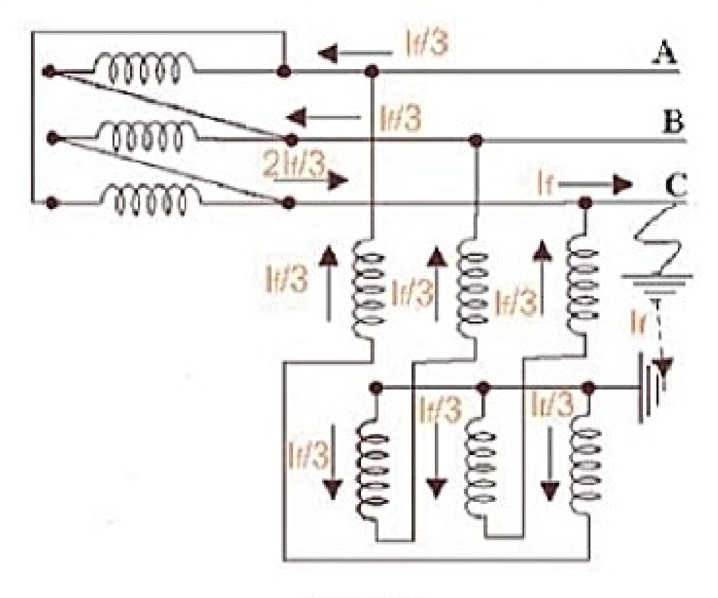




الشكل (120)

والسبب الرئيسي لاستخدام محولات الزجزاج في محولات التأريض هو أنه في حالة حدوث عطل أرضي في أحد الأسلاك المغذية للمحول فإنه وبسبب أسلوب ربط المحول سيتوزع تيار العطل بالتساوي على الملفات الثلاثة للمحول، فحيث إن كل رجل من أرجل المحول الثلاثة تحتوي على جزئين من ملفين مختلفين، والفيض المتولد من التيار المار في الجزء الأول يعاكس التيار المار في الجزء الثاني، وبهذا

سيوفر الربط المتداخل لملفات المحول ممانعة صغرى لمرور تيار العطل الأرضي لأحد الأطوار وهو المطلوب من محول التأريض، فعند حدوث خطأ أرضي على الفاز C وكان تيار الخطأ If فيتم تقسيم تيار الخطأ في محول الزجزاج كما في الشكل التالي، حيث يتم تقسيم تيار الخطأ إلى ثلاثة أجزاء كل جزء يساوي If/3



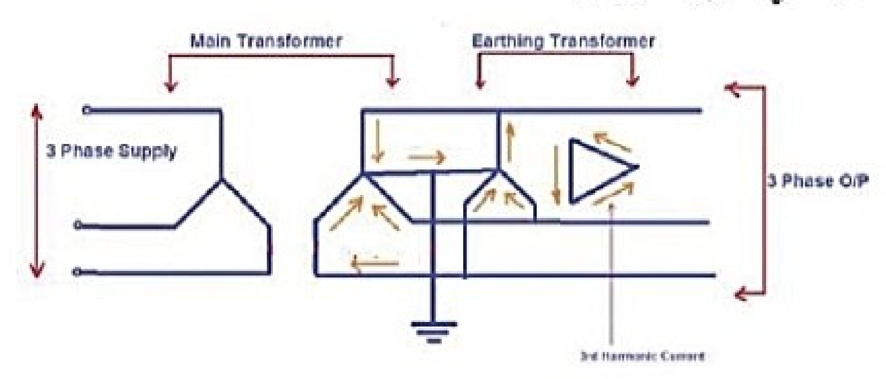
الشكل (121)

ويفضل استخدام محول الزجزاج في محولات التأريض بدلا من استخدام محولات لها ربط ستار حيث يمكن الحصول على نقطة التعادل في ربط ستار ولكن يفضل الزجزاج، لأن هذا المحول لا يتأثر بعدم توازن الأحمال على الفازات عكس محول ستار الذي يتأثر فكما ذكرنا عند حدوث تحميل غير متزن على المحول الموصل ستار فإن الجهد عند الحمل سيكون غير متزن وتصبح نقطة التعادل غير مستقرة إلا إذا تم توصيل نقطة التعادل (N) الخاصة بالحمل بنقطة التعادل الخاصة بالملف الثانوي.

ثانيا : محول ستار - دلتا

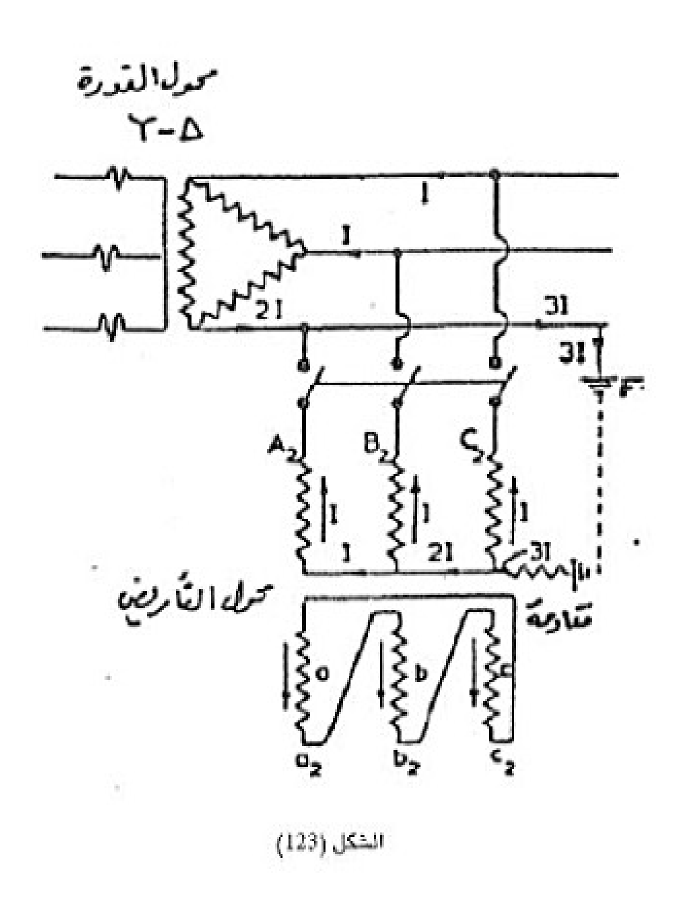
هذا المحول عبارة عن محول ثلاثي الأوجه ذي قلب حديدي، يحتوي على ملفين أحدهما ستار والملف الثاني يكون دلتا، يوصل الملف الابتدائي الموصل ستار على أطراف المحول المراد تأريضة، والملف الثانوي دلتا فإنه يوصل دلتا مغلقة .

في الحالة العادية يكون التيار المار في الملف الابتدائي لمحول التاريض عبارة عن تيار المغنطة، ولكن في حالة حدوث قصر أرضي فإن الدلتا المغلقة في محول التاريض تعمل على توزيع تيار القصر على الأوجه الثلاثة للملف الابتدائي لمحول التأريض.



الشكل (122)

وإذا كانت قيمة ممانعة محول التأريض غير مناسبة لتخفيض حدود قيم تيار القصر الأرضي للشبكة الكهربائية، فإنه يمكن إضافة مقاومة مناسبة مع محول التاريض لتخفيض حدود قيم تيار القصر الأرضي، وفي هذه الحالة يمكن أن توضع هذه المقاومة إما بين نقطة تجميع محول التأريض والأرض، أو بين أطراف محول التأريض والخط.



الشكل (123)

الباب الثالث

الحسابات الكهربية للمحولات

الفصل الأول

خصائص المحولات

بعض الخصائص عن المحولات :

1- القدرة الكهربية للمحول Transformer Rated Power

تقاس القدرة في المحولات الكهربية بالفولت أمبير (ف.أ) وذلك لسببين رئيسن هما :

1- المفاقيد النحاسية Cupper Losses تعتمد على التيار فقط والمفاقيد الحديدية Iron Losses تعتمد على الجهد فقط، أي أن المفاقيد الكلية تعتمد فقط على الجهد والتيار ولا تعتمد على الزاوية بينهما، لذلك يتم قياس قدرة المحول بالفولت أمبير.

2- التيار المسحوب من المحول يكون له معامل قدرة Power factor تتراوح قيمته من (0 – 1) حسب طبيعة الحمل المتصل به وبالتالي يصبح غير مناسب أن تقاس قدرة المحول بالوات لأنها ستكون قيمة متغيرة حسب الحمل ولكن تحسب بالفولت أمبير

فالقدرة الفعالة بالوات يمكن حسابها من المعادلة الآتية :

$$P = \sqrt{3}\, V \times I \times \cos \emptyset$$

حيث إن :

P = القدرة بالوات   V = الجهد بالفولت

I = التيار بالأمبير $\cos \phi$ = معامل القدرة

فإذا كان الجهد 380 فولت وكان الحمل يسحب تيارا مقداره 950 أمبير عند معامل قدرة 0.8 فإن القدرة في هذه الحالة تساوي حوالي 500 كيلووات، وبالتالي سوف يتم تصميم المحول على هذه القدرة ويقال إن قدرة المحول 500 كيلووات، وحيث إن معامل القدرة يختلف من حمل إلى آخر، فإذا وضعت أحمال على المحول معامل القدرة لها 0.4 وحيث إن الجهد ثابت فإن التيار سوف يصبح 1900 أمبير، هذا التيار الكبير من الممكن أن يؤدي إلى احتراق المحول (المصمم على تيار مقداره 950 أمبير)، فقبل وضع المحول في الخدمة وتحميله، فإن نوع الحمل غير معروف، وبالتالي معامل القدرة لهذا الحمل (Power Factor) غير معروف أيضا، فإذا تم حساب القدرة بالكيلو وات فإنه عند نفس الجهد إذا تم تقليل معامل القدرة إلى النصف فإن التيار سيتضاعف عن التيار المقنن مما قد يؤدي إلى احتراق المحول، لذلك تستخدم القدرة الظاهرية في حساب قدرة المحول حتى لا يتم تحميل المحول قدرة لا يستطيع حملها.

2- المحول لا يعمل بالتيار المستمر

نعلم جميعا أن نظرية عمل المحول تبنى على نظرية الحث الكهرومغناطيسي، كما أوضحنا سابقا، وهناك شروط لتوليد القوة الدافعة الحثية Induced Electro Motive Force(emf) منها :

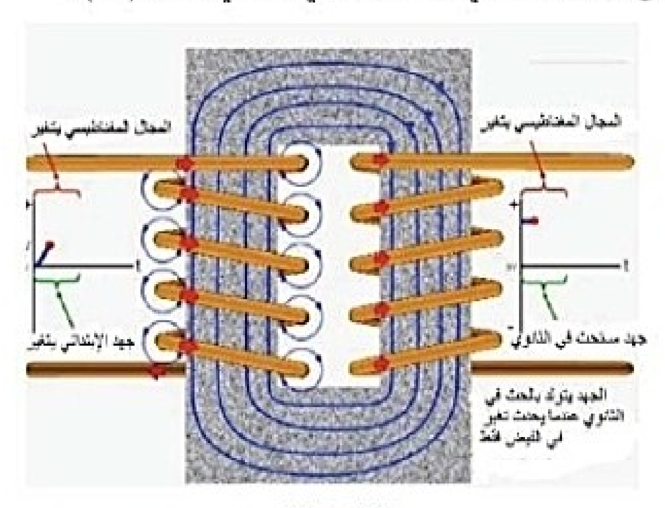
1- مجال مغناطيسي متردد : حيث ينشأ عنه مرور خطوط الفيض ذات قوة متغيرة بالقلب الحديدي للمحول، فتقطع هذه الخطوط ملفات الثانوي وبالتالي ينشأ في ملفات الثانوي جهد كهربي، حيث يتسبب المجال المغناطيسي المتغير في تحريك الشحنات في الملف الثانوي.

2- موصل كهربي وهذا الموصل غالبا ما يكون من مادة النحاس.

3- دائرة مغلقة لكي يمر التيار خلالها.

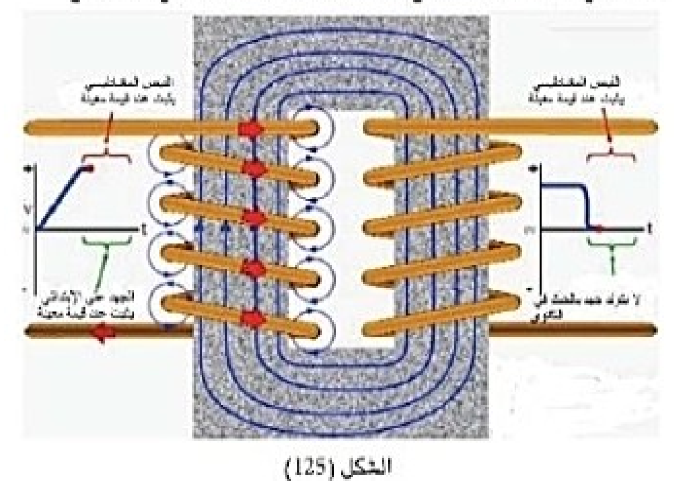
وحيث إن التيار المستمر يولد مجال مغناطيسي ثابت الشدة والاتجاه ؛ أي أنه لا يحدث تغير في الفيض المغناطيسي الذي يقطع الملف الثانوي فلا يتولد فيه قوة دافعة كهربية مستحثة وبالتالي لا يعمل المحول بالتيار المستمر.

فإذا تم تسليط جهد مستمر على المحول، ففي اللحظة التي يتم فيها غلق مفتاح تغذية المحول سيرتفع الجهد من صفر إلى قيمة معينة، ونتيجة لهذا التغير ينتج جهد بالحث في الملف الثانوي كما في الشكل (124):



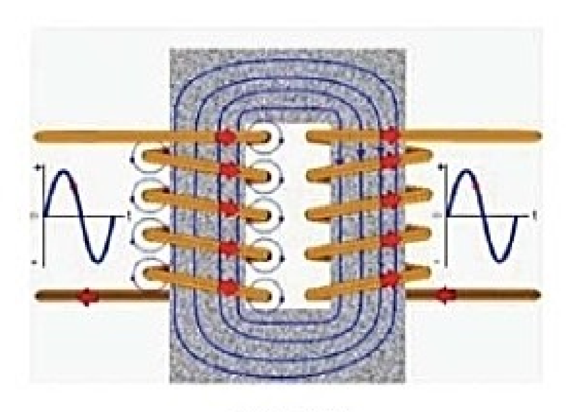
الشكل (124)

ولكن بعد هذه اللحظة سوف يثبت الجهد عند هذه القيمة المعينة، وبالتالي سوف لا يحدث تغير في الجهد، وبالتالي لا يتولد بالحث جهد في الثانوي



الشكل (125)

لذلك لابد من استخدام جهد متردد في الملف الابتدائي لكي يتم الحصول على جهد متردد في الملف الثانوي.



الشكل (126)

2- **الضوضاء في المحول** Transformer Noise

يحدث صوت الزنة Hum أو الضوضاء في المحول نتيجة للآتي :

1- القلب الحديدي Iron Core.

2- الملفات Winding.

3- معدات التبريد Cooling Equipment's.

أولا : الضوضاء الناتجة عن القلب الحديدي :

يحدث الاهتزاز في القلب الحديدي لسببين هما :

أ- ظاهرة التخصر المغناطيسي : (Magnetostriction) حيث إن المواد المصنوع منها شرائح القلب الحديدي هي مواد مغناطيسية، ففي البداية قبل تشغيل المحول تكون جزيئات المادة مرتبة ترتيبا عشوائيا وعند تسليط تيار متردد عليها فإن المجال المغناطيسي المتولد يعمل على اصطفاف جزيئات هذه المادة تدريجيا خلال القلب الحديدي، هذا الاصطفاف يعمل على حدوث تمدد Expansion في طول شرائح القلب الحديدي بحيث يزيد طول الشريحة بعض الميكرونات (والميكرون 1/ 1000000 من المتر) وعند

عودة الجزيئات إلى الحالة العشوائية يحدث انكماش Contraction في طول الشرائح، وبالرغم من أن التغير في طول الشرائح قليل جدا ويقاس بأجزاء المليون من طول الشريحة فإنه هو السبب الرئيسي للضجيج في المحول.

ب- القوى المغناطيسية Magnetic Force : والتي تنشأ بين الشرائح وخصوصا في نقاط التقاء الشرائح الحديدية مع بعضها فنتيجة لتعرض شرائح القلب الحديدي للفيض يحدث لها تجاذب وتنافر حسب موجة التيار المتردد، هذا التجاذب والتنافر يسبب اهتزاز في القلب الحديدي ويتم تقليل تاثير هذا الصوت ببناء الشرائح بالتداخل مع بعضها، ومن الملاحظ أن الصوت يكون عاليا في حالة اللاحمل ويكون منخفضا عند تحميل المحول.

ثانيا : الضوضاء الناتجة عن الملفات :

عندما يكون المحول يعمل بدون حمل أي أن دائرة الملف الثانوي مفتوحة، و لا يمر به تيار فلا تتولد قوة دافعة مغناطيسية mmf وعند تحميل المحول تظهر في ملفات الثانوي، تقاوم نمو القوة الدافعة المغناطيسية الأصلية في الملف الابتدائي، هاتان القوتان تظهر بينهما قوة تنافر تعمل على اهتزاز الملفات.

ثالثا : الضوضاء الناتجة عن معدات التبريد :

مراوح التبريد والطلمبات المستخدمة في المحولات الكبيرة تكون مصدرا من مصادر الضوضاء. في المصانع الصوت العالي في المحولات يخفي نتيجة الأصوات العالية المحيطة، أما في المستشفيات والمدارس والمعامل والمساكن لابد أن يكون الصوت منخفضا، والجدول التالي يبين مستوى الضجيج المسموح به بالديسيبل(decibels dB) :

مستوى الصوت بالديسبل	المكان
45 -30	المساكن
55 - 45	مخازن البيع بالتجزئة
70 - 45	المكاتب التي ليس بها ماكينات
75 - 50	المكاتب التي بها ماكينات
95 - 75	المصانع

والجدول التالي يوضح مستوى الصوت المسموح به لكل محول حسب قدرته :

مستوى الصوت بالديسبل	القدرة بالكيلو فولت أمبير
40	9 – 0
45	50 – 10
50	150 – 51
55	300 – 151
60	500 – 301

4- **ظاهرة الهبوط في الجهد** Voltage Drop

عندما تكون مراكز الأحمال بعيدة عن المحول ، فسوف يؤدي ذلك إلى هبوط في الجهد داخل الكابلات، وبذلك لا تعمل الأحمال بصورة مرضية.

فإذا كان لدينا محول خفض من 6600 / 400 فولت ، وحيث إن من خواص المحول V1 / N1 = V2 / N2

أي أن نصيب اللفة من الجهد متساوٍ في ملفات الابتدائي والثانوي ، فإذا كان على سبيل المثال عدد لفات الملف الابتدائي 3300 لفة وعدد لفات الملف الثانوي 200 لفة فإن جهد اللفة يساوي 6600 / 3300 = 2 فولت وبالتالي يكون الجهد على الملف الثانوي = 2 × 200 = 400 فولت.

فإذا حدث هبوط للجهد فأصبح الجهد مثلا عند المحول 6200 فولت بدلا من 6600 فولت وبالتالي يصبح جهد اللفة يساوي 6200 / 3300 = 1.88 .

ويصبح الجهد على الملف الثانوي يساوي 1.88 × 200 = 376 فولت في حالة اللاحمل، وعند التحميل يقل الجهد صورة كبيرة.

التغلب على ظاهرة الهبوط في الجهد:

لاحظنا أنه عند حدوث هبوط للجهد فإن جهد اللفة في الملف الابتدائي يقل، وبالتالي يقل جهد اللفة في الملف الثانوي وتكون النتيجة هي انخفاض جهد الملف الثانوي.

مما سبق يتبين أنه للتغلب على ظاهرة الهبوط في الجهد لابد من المحافظة على ثبوت جهد اللفة.

وحيث إن جهد اللفة يتأثر بمعاملين:

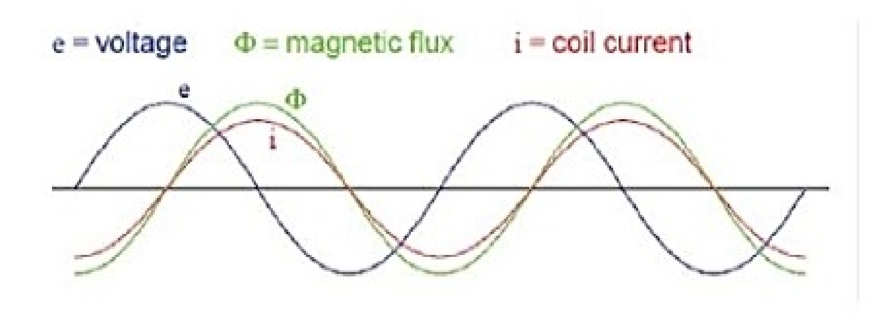
1- الجهد على الملف الابتدائي وهو يتغير حسب ظاهرة الهبوط في الجهد.

2- عدد اللفات وهو ثابت.

إذا لثبوت جهد اللفة لابد من تغير عدد اللفات مع تغير الجهد ، فإذا زاد الجهد يتم زيادة عدد اللفات وعند الهبوط في الجهد يتم تقليل عدد اللفات وهذه العملية تتم عن طريق مغير الخطوة أو مغير الجهد Tap Changer.

5- التيار الاندفاعي للمحول inrush current

في حالة التشغيل العادية للمحول، فإن موجة الجهد تسبق موجة التيار بزاوية مقدارها (قريبة من 90 درجة) لأن ملفات المحول لا تكون ملفات مثالية لأن مادة النحاس المصنوع منها الملفات تكون لها مقاومة مادية قليلة)، وحيث إن الفيض المغناطيسي Magnetic flux يتناسب مع القوة الدافعة المغناطيسية في القلب الحديدي Magnetomotive force وهذه القوة الدافعة المغناطيسية تتناسب مع التيار المار في الملفات، لذلك فإن موجة التيار تكون في نفس الوجه (in-phase) مع موجة الفيض المغناطيسي، انظر الشكل (127)، ففي الوقت الذي تكون فيه موجة التيار تساوي صفر فإن موجة الفيض المغناطيسي تساوي الصفر، وتكون موجة الجهد قيمة عظمى موجبة أو سالبة.



الشكل (127)

فإذا تم فصل المحول وإعادة تشغيله مرة أخرى فإنه يظهر في بعض الأحيان تيار عالٍ جدا يسمى التيار الاندفاعي وهذا التيار يظهر عند تشغيل المحول بعد فصل وسوف يتم دراسة تأثير هذا التيار في الحالات الآتية :

1- فصل وتوصيل المحول الذي يعمل بدون حمل.

2- فصل وتوصيل المحول الذي يعمل بحمل.

أولا : فصل وتوصيل المحول الذي يعمل بدون حمل

كما ذكرنا في حالة التشغيل العادية للمحول، فإن موجة الجهد تسبق كلا من موجة التيار وموجة الفيض المغناطيسي بزاوية مقدارها 90 درجة تقريبا.

وعند فتح المفتاح الذي يغذي المحول فإن التيار سوف يساوي صفرا، وحيث إنه في الوقت الذي تكون فيه موجة التيار تساوي صفرا فإن موجة الفيض المغناطيسي يساوي صفرا أيضا، وفي هذه الحالة لا يكون هناك مغناطيسية متبقية.

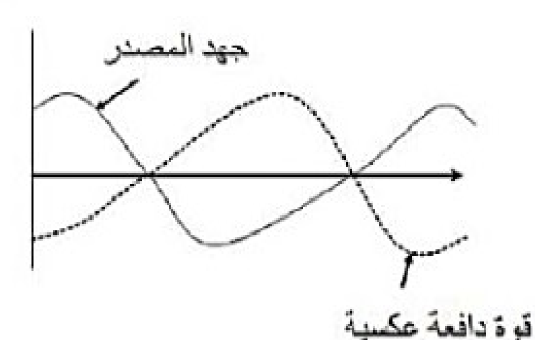
وعند إعادة تشغيل المحول الذي تم فصله بدون حمل فسوف تظهر إحدى هاتين الحالتين :

الحالة الأولى :

غلق دائرة المحول و كانت موجة الجهد في اللحظة التي يتم فيها غلق المفتاح قيمة عظمى موجبة peak value Positive .

عند غلق المفتاح الذي يغذي المحول فإنه يمر تيار كهربي في الملف، ونتيجة لمرور التيار يتولد مجال مغناطيسي Magnetic Field حول لفات الملف، وعندما تقطع لفات الملف خطوط الفيض المغناطيسي، يتولد فيض آخر، وهذا الفيض الثاني يولد على طرفي الملف قوة دافعة كهربية عكسية Back Electro Motive Force (bemf) تساوي وتضاد جهد المنبع Applied source voltage طبقا لقاعدة لينز.

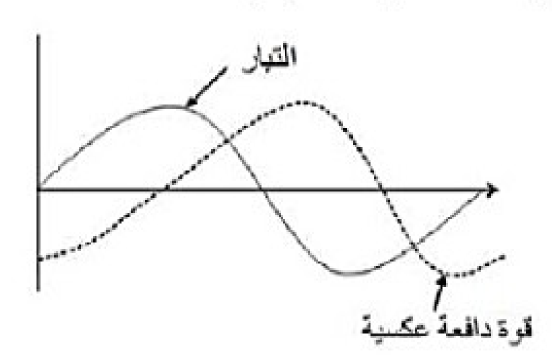
فإذا كانت موجة جهد المصدر قيمة عظمى موجبة فإن موجة القوة الدافعة العكسية تكون قيمة عظمى سالبة، وإذا كانت موجة الجهد قيمة عظمى سالبة فإن موجة القوة الدافعة العكسية تكون قيمة عظمى موجبة كما في الشكل (133):



الشكل (128)

وكما ذكرنا فإنه نتيجة لمرور التيار في الملف يتولد فيض مغناطيسي وهذا الفيض يولد القوة الدافعة العكسية، وحيث إن القوة الدافعة العكسية تعارض

الزيادة والنقص في التيار المار في الملفات، فتكون موجة التيار (وكذلك موجة الفيض) تساوي صفرا عندما تكون القوة الدافعة العكسية قيمة عظمى وتكون موجة التيار (وكذلك موجة الفيض) قيمة عظمى عندما تكون القيمة الدافعة العكسية تساوي صفرا كما في الشكل (129).



الشكل (129)

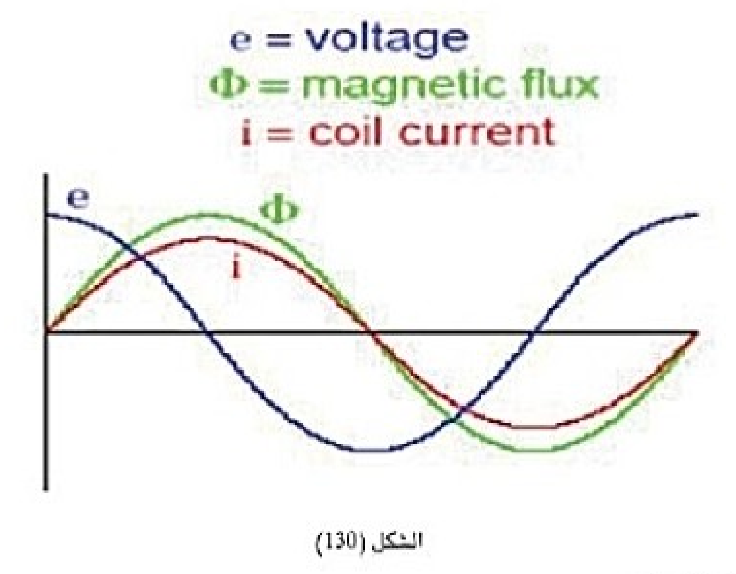
وحيث إن المحول سوف يتم دخوله في الخدمة في اللحظة التي تكون فيها موجة جهد المصدر قيمة عظمى موجبة فنلاحظ الآتي :

1- حسب الشكل (128) الذي يوضح العلاقة بين جهد المصدر والقوة الدافعة العكسية فإن موجة القوة الدافعة العكسية سوف تكون قيمة عظمى سالبة.

2- حسب الشكل (129) الذي يوضح العلاقة بين موجة التيار وموجه القوة الدافعة العكسية فإن موجة التيار تبدء من الصفر في اتجاه القيمة العظمى الموجبة.

ففي هذه الحالة فإننا نلاحظ أن موجة التيار (وموجه الفيض المغناطيسي) تبدء من الصفر وتزيد بسرعة وذلك لتوليد القوة الدافعة العكسية اللازمة للاتزان مع جهد المصدر، ونظرا لعدم وجود مغناطيسية متبقية فإن كلاً من موجتي التيار والفيض لا تزيد عن القيم الطبيعية لهم في حالة التشغيل العادي المستمر كما في الشكل (130).

وبالتالي ففي هذه الحالة لا يظهر تيار اندفاعي عند إعادة تشغيل المحول الذي يعمل بدون حمل (لا توجد مغناطيسية متبقية) وكانت موجة الجهد لحظة تشغيل المحول قيمة عظمى.



الشكل (130)

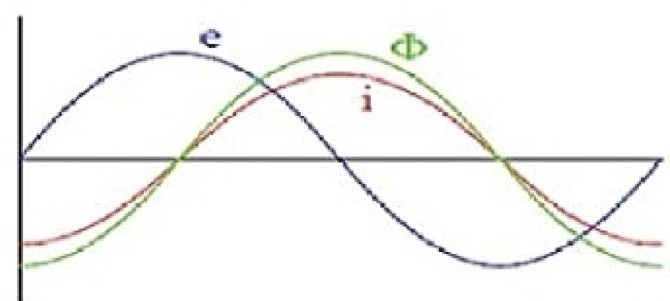
الحالة الثانية :

غلق دائرة المحول عند اللحظة التي تكون فيها موجة الجهد تساوي صفر

هناك فرق كبير بين العلاقة بين موجات الجهد والتيار والفيض في حالة التشغيل العادي المستمر وبين اللحظة الأولى لدخول المحول بعد فترة توقف.

فكما ذكرنا أنه في حالة التشغيل العادي المستمر للمحول، إذا كانت موجة الجهد تساوي صفرا، فإن موجة التيار تكون قيمة عظمى وكذلك يكون الفيض المتولد قيمة عظمى.





الشكل (131)

ولكن إذا كان المحول متوقفا عن العمل لفترة ما (لإجراء عملية الصيانة أو الإصلاح)، وتم تشغيل المحول و كانت موجة الجهد عند اللحظة التي يتم فيها غلق مفتاح المحول تبدء من الصفر وتزيد إلى القيمة العظمى في الاتجاه الموجب مثلا نلاحظ الآتي:

1- في هذه الحالة لا توجد مغناطيسية متبقية.

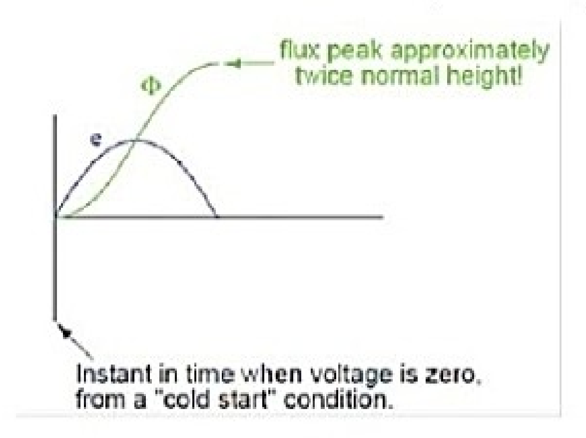
2- في الفترة الزمنية الصغيرة جدا التي يكون عندها قيمة الجهد تساوي صفرا فإن قيمة التيار والفيض تساوي صفرا أيضا.

3- بعد هذه الفترة الصغيرة يبدأ الجهد في الزيادة في اتجاه القيمة العظمى الموجبة.

4- مع بداية زيادة الجهد يبدأ الفيض أيضا في الزيادة في اتجاه القيمة العظمى الموجبة وذلك لتوليد القوة الدافعة الكهربية العكسية اللازمة لمعادلة جهد المصدر (فلو كان هناك فيض مغناطيسي مقدارة قيمة عظمى سالبة كما في حالة التشغيل المستمر لتم توليد القوة الدافعة الكهربية العكسية).

5- عندما تقوم موجة الجهد بالانخفاض من القيمة العظمى الموجبة إلى الصفر.

6- يستمر الفيض المغناطيسي في الزيادة وذلك للاستمرار في توليد القوة الدافعة الكهربية العكسية حتى يصل إلى ضعف القيمة العظمى الموجبة كما في الشكل التالي .



الشكل (132)

وفي هذه الحالة سوف يزيد التيار ويصل إلى ضعف القيمة الطبيعية للتيار، وهذا التيار سوف لا يسبب تشبع للقلب الحديدي.

ثانيا : فصل وتوصيل المحول الذي يعمل بحمل

عندما يكون المحول يعمل بالحمل الكامل، فإن معامل القدرة يكون عادة متأخرا بزاوية تتراوح بين (0.50 – 0.95) وذلك حسب نوعية الأحمال، أي أن الوضع في هذه الحالة يختلف عن الوضع في حالة تشغيل المحول في حالة اللاحمل، لذلك عند فصل المحول عن الخدمة فإنه على الرغم من موجة الجهد سوف تصبح صفرا فإن التيار سوف لا يصبح صفر (نتيجة التيار التأثيري المتولد بالحث الذاتي في ملفات الأحمال)، وبالتالي فإن الفيض سوف لا يساوي صفر أيضا وهذا يتسبب في وجود كمية كبيرة من المغناطيسية المتبقية Resedual magnetism في القلب الحديدي والتي تبقى لفترة كبيرة.

وعند إعادة تشغيل المحول الذي تم فصله، وهو يعمل بحمل فسوف تظهر إحدى هاتين الحالتين :

الحالة الأولي :

غلق دائرة المحول و كانت موجة الجهد في اللحظة التي يتم فيها غلق المفتاح قيمة عظمى موجبة peak value Positive

عند غلق دائرة المحول تكون المغناطيسية المتبقية في القلب الحديدي كبيرة جدا ، ففي هذه الحالة فإننا نلاحظ الآتي :

1- موجة الجهد في اللحظة التي يتم فيها غلق المفتاح قيمة عظمى موجبة.

2- موجة القوة الدافعة العكسية سوف تكون قيمة عظمى سالبة لأنها تساوي وتضاد جهد المنبع.

3- موجة التيار وموجة الفيض المغناطيسي تبدء من الصفر وتزيد بسرعة في الاتجاه الموجب.

4- ونظرا لوجود مغناطيسية متبقية فإن التيار يزيد ولكن لا يصل لدرجة التشبع.

الحالة الثانية :

غلق دائرة المحول عند اللحظة التي تكون فيها موجة الجهد تساوي صفرا

عندما يكون المحول يعمل على حمل وتم إيقاف المحول عن العمل لفترة ما (لإجراء عملية الصيانة أو الإصلاح)، وتم تشغيل المحول مرة أخرى و كانت موجة الجهد عند اللحظة التي يتم فيها غلق مفتاح المحول تبدء من الصفر وتزيد إلى القيمة العظمى في الاتجاه الموجب مثلا نلاحظ الآتي :

1- في هذه الحالة تكون المغناطيسية المتبقية في القلب الحديدي كبيرة.

2- في الفترة الزمنية الصغيرة جدا التي يكون عندها قيمة الجهد تساوي صفرا فإن قيمة التيار والفيض تساوي صفرا أيضا.

3- بعد هذه الفترة الصغيرة يبدأ الجهد في الزيادة في اتجاه القيمة العظمى الموجبة.

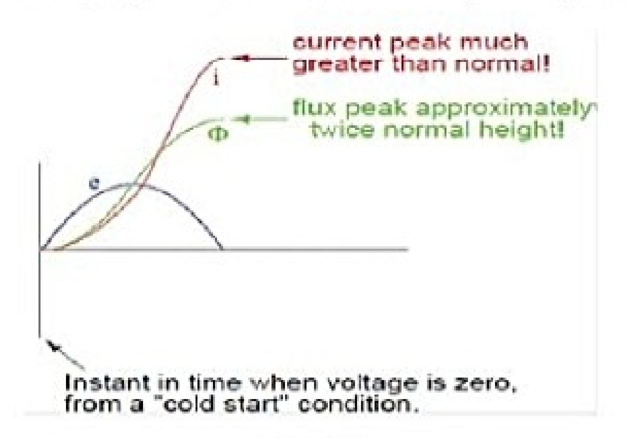
4- مع بداية زيادة الجهد يبدأ الفيض أيضا في الزيادة في اتجاه القيمة العظمى

الموجبة وذلك لتوليد القوة الدافعة الكهربية العكسية اللازمة لمعادلة جهد المصدر (فلو كان هناك فيض مغناطيسي مقدارة قيمة عظمى سالبة كما في حالة التشغيل المستمر لتم توليد القوة الدافعة الكهربية العكسية).

5- عندما تقوم موجة الجهد بالانخفاض من القيمة العظمى الموجبة إلى الصفر.

6- يستمر الفيض المغناطيسي في الزيادة وذلك للاستمرار في توليد القوة الدافعة الكهربية العكسية حتى يصل إلى ضعف القيمة العظمى الموجبة.

7- نظرا لوجود مغناطيسية متبقية كبيرة فإنه قد يحدث تشبع للقلب الحديدي، وفي هذه الحالة لا يمنع زيادة التيار إلا مقاومة الملف الابتدائي التي تكون صغير جدا ومعاوقة الفيض المتسرب وبذلك يمر تيار عالٍ جدا قد يصل من (3.5 – 40) ضعف التيار الاسمى وذلك في ربع الدورة الأول.



الشكل (133)

مما سبق نلاحظ أن الفيض المغناطيسي المتبقي وكذالك النقطة في الموجه الجيبية للجهد والتيار التي يتم توصيل المحول عندها لهما تأثير كبير جدا على حدوث التشبع المغناطيسي وظهور التيار الاندفاعي، ولذلك نلاحظ أنه في بعض المرات يتم فصل مفتاح المحول وفي مرات أخرى لا يتم الفصل .

أسباب ظهور المغناطيسية المتبقية وتأثيرها على حدوث التشبع في القلب الحديدي

على الرغم من أن الحديد الصلب من أفضل المواد لمرور الفيض المغناطيسي إلا أنها لها عيب وهو التخلفية المغناطيسية، فمادة الحديد تحتوي على عدد كبير من المغناطيسيات الجزيئية التي لها قطبان شمالي وجنوبي وتكون مرتبة ترتيبا عشوائيا بحيث تلغي كل واحدة التأثير المغناطيسي للآخر، وينتج عن ذلك أن مادة الحديد ليس لها خاصية الجذب المغناطيسي في الحالة العادية

وعند تشغيل المحول بأحمال كبيرة سوف يمر تيار كبير ، هذا التيار يولد مجال مغناطيسي قوي يؤثر على هذه المغناطيسيات الجزيئية ويجعل عدد كبير منها يصطف في إتجاه هذا الجال وينشأ عن ذلك اتجاه تمغنط واحد يتغير مع تغير موجة التيار

وعند فصل المحول ويصبح التيار صفر وبالتالي يصبح المجال صفر فإن هذه المغناطيسيات الجزيئية لا تعود لترتيبها العشوائي ولكن يحتفظ عدد كبير منها بالمغناطيسية (تزول هذه المغناطيسية المتبقية بعد فترة)

وعند تشغيل المحول مرة أخرى بعد فترة زمنية صغيرة وكانت قيمة الجهد تبدأ من الصفر ففي هذه اللحظة تكون قيمة التيار والفيض تساوي صفرا أيضا، و مع بداية زيادة الجهد يبدأ الفيض بالزيادة بصورة كبيرة جدا لتوليد القوة الدافعة الكهربية العكسية اللازمة لمعادلة جهد المصدر ، فعند هذه اللحظة يزداد الإصطفاف إلى أن نصل إلى حاله تصبح فيها جميع المغناطيسيات الجزيئية مصطة ومتوجهه باتجاه المجال الخارجي وبهذا نصل الى حالة التشبع المغناطيسي حيث لاتوجد في القلب الحديدي مغناطيسيات جزيئية غير مصطفه ، وفي هذه الحالة لا يمنع زيادة التيار إلا مقاومة الملف الابتدائي التي تكون صغير جدا ومعاوقة الفيض المتسرب

6- توصيل المحولات على التوازي Parallel Operation

يتم توصيل محولين على التوازى حيث يوصل ملفا الجهد العالى مع بعضهما وكذلك ملفا الجهد المنخفض في الحالات التالية :

1- في بعض الأحيان يتم زيادة الأحمال نتيجة للتوسعات في مراكز الأحمال (مصانع – منشآت – حقول بترول – مباني سكنية ....) وبالتالي تزيد قدرة الأحمال عن قدرة المحول المستخدم، وفي هذه الحالة يوجد حلان: إما يتم استبدال المحول بمحول ذو قدرة أكبر وهذا الحل قد يكون غير اقتصادي، والحل الثاني هو تشغيل محول آخر على التوازي مع هذا المحول.

2- إذا كانت دورة الحمل على المحول (Load Cycle) تتغير تغيراً كبيراً مع الزمن فإذا انخفض الحمل فيمكن فصل أحد المحولات، وتحميل المحول الثاني وهذا أفضل من تحميل الحمل كله على محول واحد.

3- عندما يغذى المحول أحمالا ذات أهمية خاصة بحيث إن استمرارية التغذية يكون لها الأهمية الأولى بصرف النظر عن الاعتبارات الاقتصادية وخاصة صناعات البتروكيماويات وغيرها من الصناعات التى لا تحتمل انقطاع التيار الكهربى عنها .

ولكن لابد من توافر بعض الشروط لكي تعمل المحولات على التوازي بطريقة سليمة، وهذه الشروط هي :

1- جهود الدخول والخروج والتردد و نسبة التحويل متساوية

2- النسبة المئوية للمعاوقة (Z%) متساوية في المحولين

3- النسبة بيين المقاومة والممانعة متساوية في المحولين

4- تطابق الأوجه في المحولين Same phase rotations

5- عدم وجود فرق في الطور بين ملفات الابتدائي والثانوي

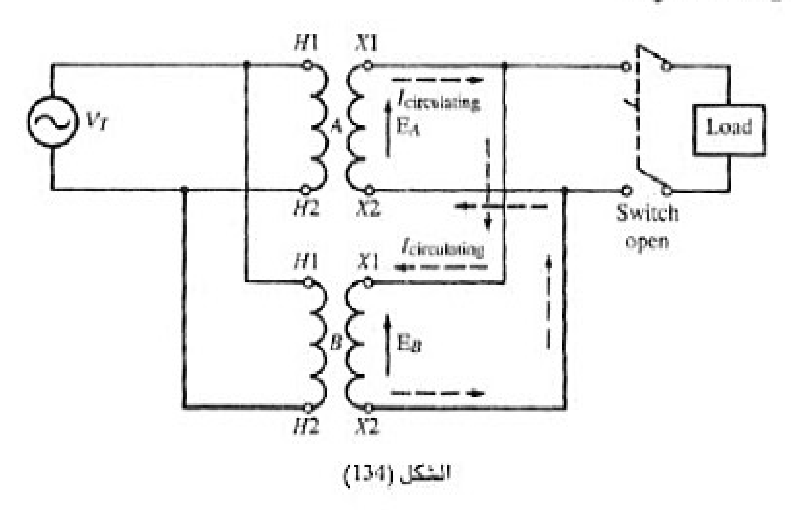
6- أن تراعي قطبية الأطراف عند توصيلهما، فتوصل الأطراف ذات القطبية المتماثلة معا

7- يفضل أن تكون قدرة المحولين المراد تشغيلهما بالتوازى متقاربتين بقدر الإمكان.

وفيما يلي شرح لأهمية هذه الشروط :

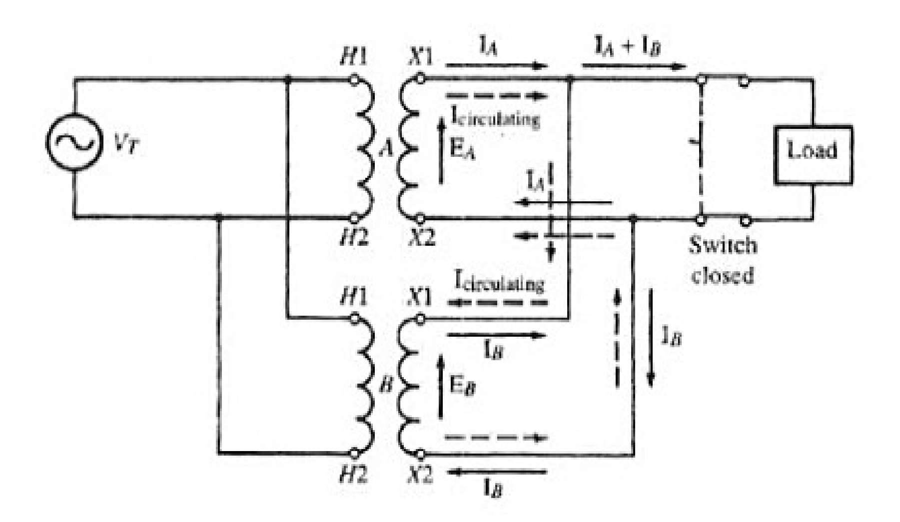
أولا : جهود الدخول والخروج والتردد لهما متساويان و نسبة التحويل يجب أن تكون متساوية

فإذا كان لدينا محولان موصلان على التوازي، وكان هناك فرق بسيط بين نسب التحويل في كلا المحولين فسوف يمر تيار دوار Circulating Current حتى لو كان الحمل مفصولا، أي في حالة الـ No-load كما في الشكل (139) وهذا التيار يمثل فقدا للقدرة.



الشكل (134)

فإذا فرضنا أن الجهد EA أكبر من الجهد EB فسوف يتحدد اتجاه التيار الذي يدور بين أطراف الملف الثانوي يكون، كما في الشكل السابق، فإذا تم توصيل الحمل كما في الشكل (135).



الشكل (135)

فإن الجهود المتولدة بالحث في الملفات الثانوية تكون غير متساوية أيضا وينتج عن ذلك تيار دوار Circulating Current يتم جمعه على IA بينما يتم طرحه من IB وينتج عن هذا التيار عدم تساوي التحميل على المحولين بحيث يتم تحميل أحد المحولين أكثر من قدرته أي يصبح أحد المحولين Over loaded.

ثانيا : النسبة المئوية للمعاوقة (Z%) متساوية في المحولين.

إذا لم تكون النسبة المئوية للمعاوقة متساوية فإن تساوي الأحمال ما بين المحولات لا يتم، إذ يتم تحميل محول ما بقيمة أكبر من المحول الثاني.

ثالثا : النسبة بين المقاومة والممانعة متساوية في المحولين

ليس من الضروري أن تتساوى المقاومة والممانعة للمحولين، ولكن الضروري أن تكون النسبة بينهم متساوية حتى يتساوى الهبوط في الجهد مقدارا واتجاها.

رابعا :تطابق الأوجه في المحولين

أن يراعى توافق التعاقب المرحلي(phase sequence) بالنسبة للمحاولات الثلاثية الأوجه على أن يكون تعاقب المراحل متماثلا في المحولين، وإلا فسوف تحدث دائرة قصر بين كل مرحلتين خلال كل دورة.

خامسا :عدم وجود فرق في الطور Phase displacement بين ملفات الابتدائي والثانوي

عند وجود فرق في الطور، فإن ذلك يؤدي إلى مرور تيار دوار Circulating Current يعمل على سخونة المحول.

سادسا : توصيل الأطراف ذات القطبية المتماثلة معا

وينشأ عن وجود خطأ فى القطبية عند التوصيل، أن يصبح الملفان الثانويان مقصورين بضعف الجهد، مما يتسبب فى مرور تيار قصر كبير قبل التوصيل إلى الحمل . لذلك يجب التحقق من صحة التوصيل بالنسبة للقطبية قبل أن يصبح الملفان الثانويان متصلين على التوازى معا على طرفى الحمل.

سابعا : يفضل أن تكون قدرة المحولين المراد تشغيلهما بالتوازى متقاربتين بقدر الإمكان

حيث لا يوجد ما يمنع من تشغيل محولين على التوازى بسبب اختلاف قدرتهما، ولكن الحكمة فى ذلك خوفا من حدوث خلل فى المحول الكبير مما يؤدى لوقوع الحمل كاملا على المحول الصغير مما يؤدى لانهياره.

7- المجموعة الاتجاهية Vector Group

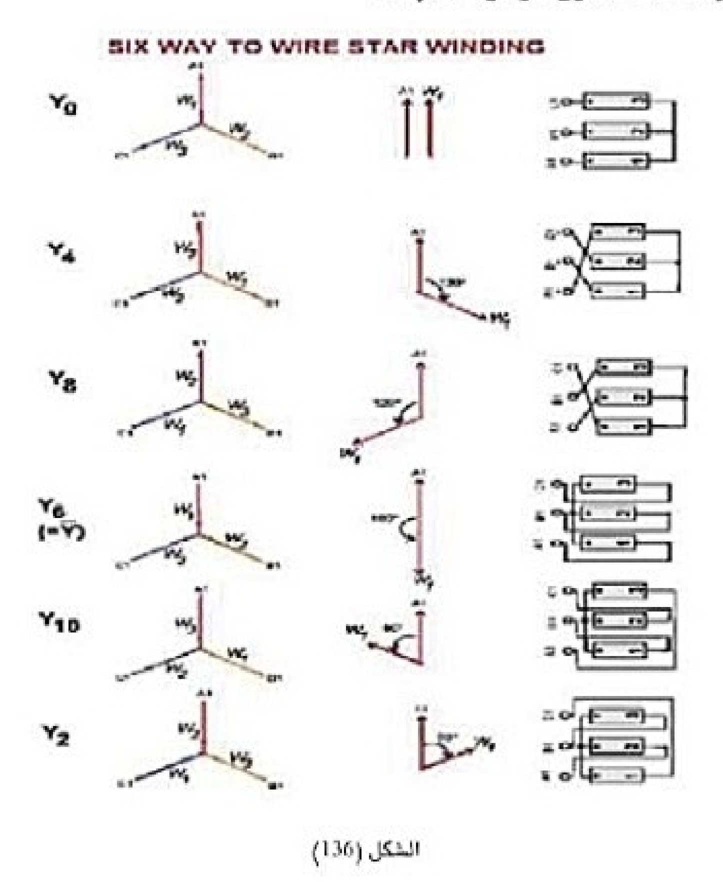
هي طريقة توصيل الملفات الابتدائية والملفات الثانوية للمحول، وهي تعمد بصفة أساسية على عملية لف الملفات، وعلى طريقة توصيل الملفات معا وعلى الزاوية بين الجهود في ملفات الابتدائي والثانوي حتى يتم الوصول إلى الشكل النهائي للملفات التي يتم توصيلها على شكل دلتا والملفات التي يتم توصيلها ستار.

فمثلا من الممكن أن يكون لدينا محولان الملف الابتدائي لكلا المحولين يكون دلتا والملف الثانوي لكلا المحولين يكون نجمة، ولكن النجمة في المحول الأول تكون عن طريق ربط نهايات الملفات معا وخروج البدايات والنجمة في

المحول الثاني تكون عن طريق ربط بدايات الملفات معا وخروج النهايات، فهذا التوصيل الداخلي للملفات لا يؤثر على المحول، فكلا المحولين سوف يعمل بصورة طبيعية حسب الجهود والقدرة المصمم عليها ولكن لا يمكن توصيل هذين المحولين معا على التوازي.

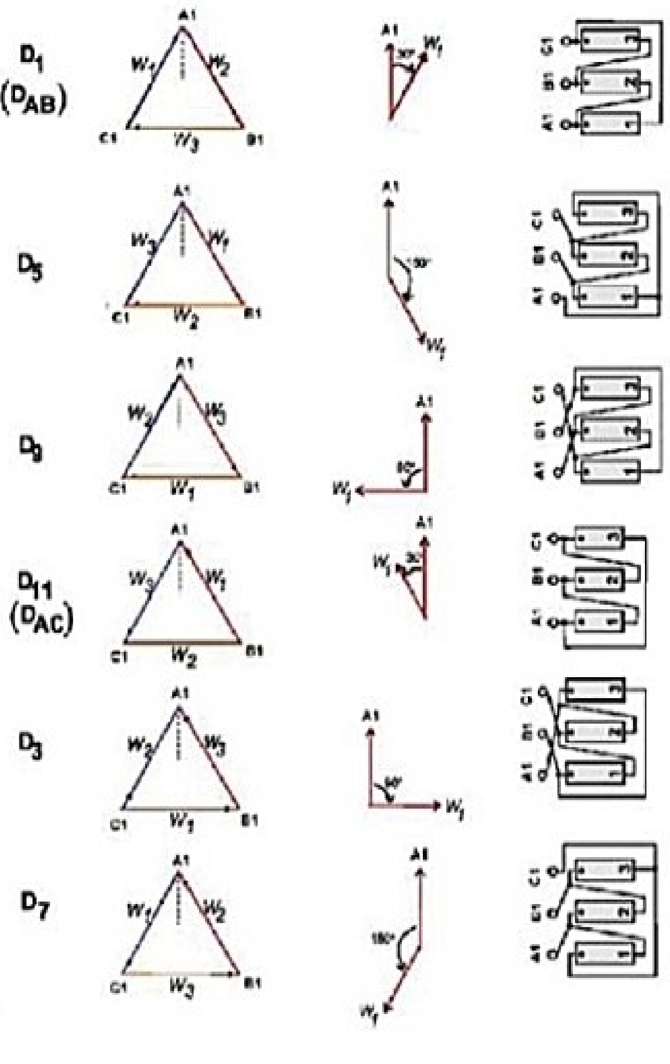
من ذلك يتضح أن المجموعة الاتجاهية لأي محول بذاته ليس لها أي دور في طريقة عمل المحول.

فيوجد هناك ٦ طرق لتوصيلة النجمة :



الشكل (136)

ويوجد هناك 6 طرق لتوصيلة الدلتا :



الشكل (137)

ولكن يتم الاهتمام بالمجموعة الاتجاهية فقط عند توصيل المحولات على التوازي.

يمكن معرفة المجموعة الاتجاهية عن طريق رسم ساعة حقيقية، يكون فيها دائما المتجه الممثل لجهد الملف الثانوي هو عقرب الساعات ويكون المتجه

الممثل لجهد الملف الابتدائي هو عقرب الدقائق وكلاهما يمثل جهد الوجه في كلا الجانبين ويكون الطريقة كالتالي :

1- تكتب طريقة التوصيل في الملف الابتدائي بحروف كبيرة Capital فإذا كان التوصيل على شكل نجمة تكتب Y وإذا كان التوصيل على شكل دلتا تكتب D، أما طريقة التوصيل الملف الثانوي فتكتب بحروف صغيرة Small فإذا كان التوصيل على شكل ستار تكتب y وإذا كان التوصيل على شكل دلتا تكتب d .

2- إذا كانت نقطة التعادل Neutral يمكن الوصول إليها في توصيلة النجمة فإن حرف الـ N يظهر في الاسم.

3- يتم تمثيل الزوايا الاتجاهية بـ 12 رقم، وحيث إن مجموع الزوايا حول نقطة هو 360 درجة، وبالتالي يكون الفرق بين كل رقمين متتاليين يساوي 360\ 12 = 30 درجة، فالرقم 1 يمثل 30 درجة والرقم 2 يمثل 60 درجة وهكذا.

4- نبدء برسم عقرب الدقائق الممثل لجهد الملف الابتدائي ونجعله دائما يشير إلى الساعة 12 سواء كان توصيل الملفات في الابتدائي دلتا أو ستار

5- نرسم عقرب الساعات الممثل للجهد المنخفض حسب زاويته في الرسم.

6- اعتبار أن الدوران الموجب هو عكس عقارب الساعة، فالزاوية الاتجاهية تعتبر موجبة إذا كان الجهد في ناحية الجهد المنخفض متأخرا عن الجهد في ناحية الجهد العالي.

7- من قيمة الساعة يمكن معرفة المجموعة الاتجاهية Vector Group ومنها يمكن معرفة الـ Phase Displacement .

حيث يمكن تقسيم توصيل الملفات معا إلى أربع مجموعات كما في الجدول التالي :

ملاحظات	الزاوية بين الملف الابتدائي والثانوي	طريقة التوصيل	المجموعة
لا يوجد فرق في طور بين ملفات الابتدائي والثانوي	°0	Yy0 & Dd0	1
الجهد في الابتدائي يتأخر على الجهد في الثانوي بزاوية مقدارها 180 درجة	° 180	Yy6 & Dd6	2
الجهد في الثانوي يتأخر على الجهد في الثانوي بزاوية مقدارها 30 درجة	° +30	Yd1 & Dy1	3
الجهد في الثانوي يتقدم على الجهد في الثانوي بزاوية مقدارها 30 درجة	° 30 –	Yd11 & Dy11	4

Example

Digit 0 =0° that the LV phasor is in phase with the HV phasor

Digit 1 =30° lagging)LV lags HV with 30°(because rotation is anti-clockwise.

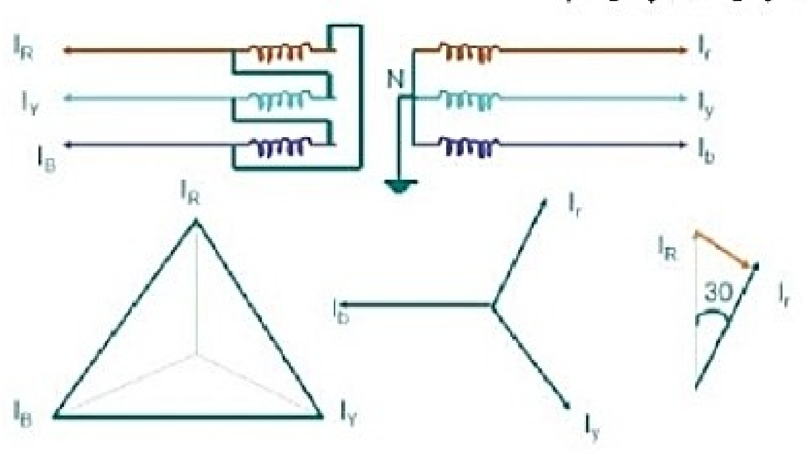
Digit 11 = 330° lagging or 30° leading)LV leads HV with 30°(

Digit 5 = 150° lagging)LV lags HV with 150°(

Digit 6 = 180° lagging)LV lags HV with 180°(

شرح بعض المجموعات الاتجاهية:

1- المجموعة الاتجاهية Dy1

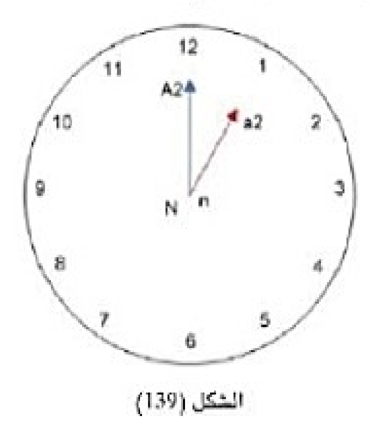


الشكل (138)

1- الملف الابتدائي على شكل دلتا D ويمثله عقرب الدقائق الأطول.

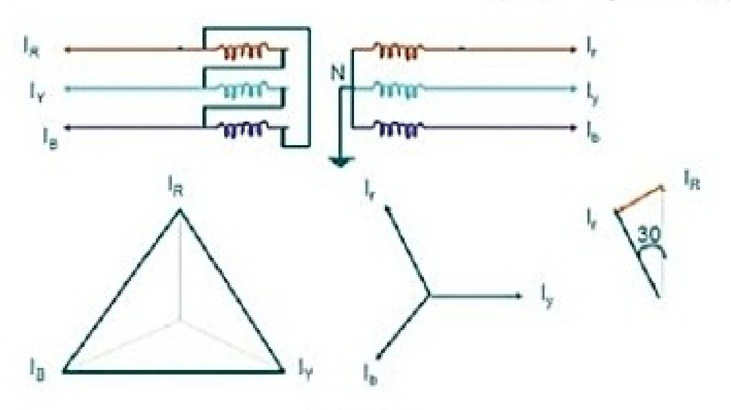
2- الملف الثانوي على شكل ستارy ويمثله عقرب الساعات الأقصر.

3- في هذه الحالة يمكن القول بأنه يوجد فرق في الطور بين الجهد في الابتدائي والثانوي بمقدار 30 درجة (الجهد في الابتدائي يسبق الجهد في الثانوي بزاوية 30 درجة، كما يشير عقرب الدقائق إلى الساعة 12 ويشير عقرب الساعة إلى الساعة الواحدة).



الشكل (139)

2- المجموعة الاتجاهية Dyn11



الشكل (140)

أ- الملف الابتدائي على شكل دلتا D ويمثله عقرب الدقائق الأطول.

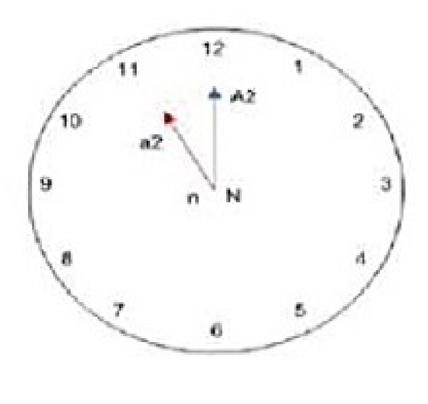
ب- الملف الثانوي على شكل نجمة y ويمثله عقرب الساعات الأقصر.

ت- نقطة التعادل Neutral يمكن الوصول إليها في توصيلة النجمة فإن حرف الـN يظهر في الاسم.

ث- الزاوية بينهم كما في الرسم المقابل هي (-30 درجة).

ج- الجهد في الملف الثانوي يتقدم عن الجهد في الملف الابتدائي بزاوية مقدارها 30 درجة.

ح- ويمكن تمثيل المجموعة الاتجاهية بالساعة بالشكل المقابل.



الشكل (141)

طريقة تحديد المجموعة الاتجاهية Dyn11:

الملف الابتدائي للمحول يكون على شكل دلتا (D) وأطرافة R ، Y & B والملف الثانوي على شكل ستار (Y) وأطرافة r ، y، b فلتحديد المجموعة الاتجاهية لهذا المحول نتبع الخطوات التالية :

1- يتم ربط الطرف R في ناحية الملف الابتدائي مع r في ناحية الملف الثانوي.

2- يتم تسليط جهد ثلاثي 3Phase Voltage (400 V ، 50 Hz) على ناحية ملفات الجهد العالي.

3- يتم قياس الجهد بين الطرفين R ، Y و بين الطرفين R ، n وتسجيل القيمة.

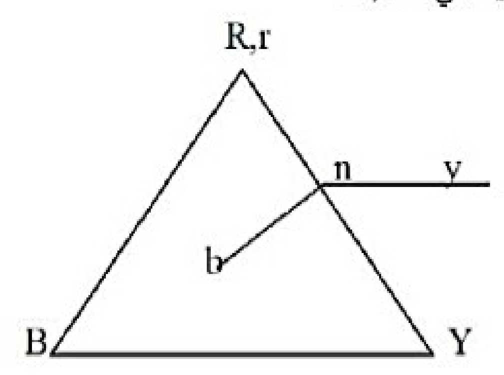
4- يتم قياس الجهد بين الطرفين Y ، n و بين الطرفين Y ، y وتسجيل القيمة.

5- يتم قياس الجهد بين الطرفين Y ، b و بين الطرفين B ، b وتسجيل القيمة.

6- يتم قياس الجهد بين الطرفين B ، y وتسجيل القيمة.

النتائج :

إذا كان الجهد Yy = Yb وكان الجهد By > Bb وكان الجهد RY = Rn + Yn فإن ذلك يعني أن المجموعة الاتجاهية هي Dyn11.



Voltages between Rn ; Yn ; RY $V_{RY} = V_{RN} + V_{YN}$

Voitages between Yb ; Yy ; $V_{Yb} = V_{Yy}$

Voltages between Bb ; By ; $V_{Yb} > V_{Bb}$

الشكل (142)

طريقة تحديد المجموعة الاتجاهية Ynd11:

الملف الابتدائي للمحول يكون على شكل ستار (Y) وأطرافة 1W & 1V ، 1U والملف الثانوي على شكل دلتا (d) وأطرافه 2W ،2V ، 2U فلتحديد المجموعة الاتجاهية لهذا المحول نتبع الخطوات التالية :

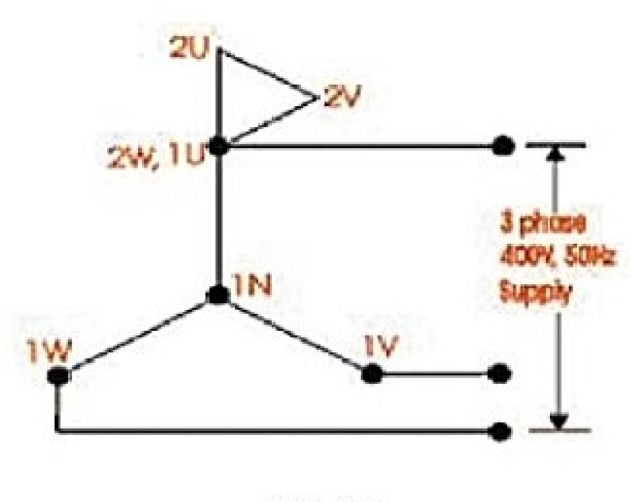
1- يتم ربط الطرف 1U في ناحية الملف الابتدائي مع 2W في ناحية الملف الثانوي.

2- يتم تسليط جهد ثلاثي 3Phase Voltage (400 V ، 50 Hz) على ناحية ملفات الجهد العالي.

3- يتم قياس الجهد بين الطرفين 1N، 2U وبين الطرفين 1N ، 2V وتسجيل القيمة.

5- يتم قياس الجهد بين الطرفين 1N، 2W و بين الطرفين 1V، 2V وتسجيل القيمة.

7- يتم قياس الجهد بين الطرفين 1W،2W و بين الطرفين 1W ، 2V تسجيل القيمة.



الشكل (143)

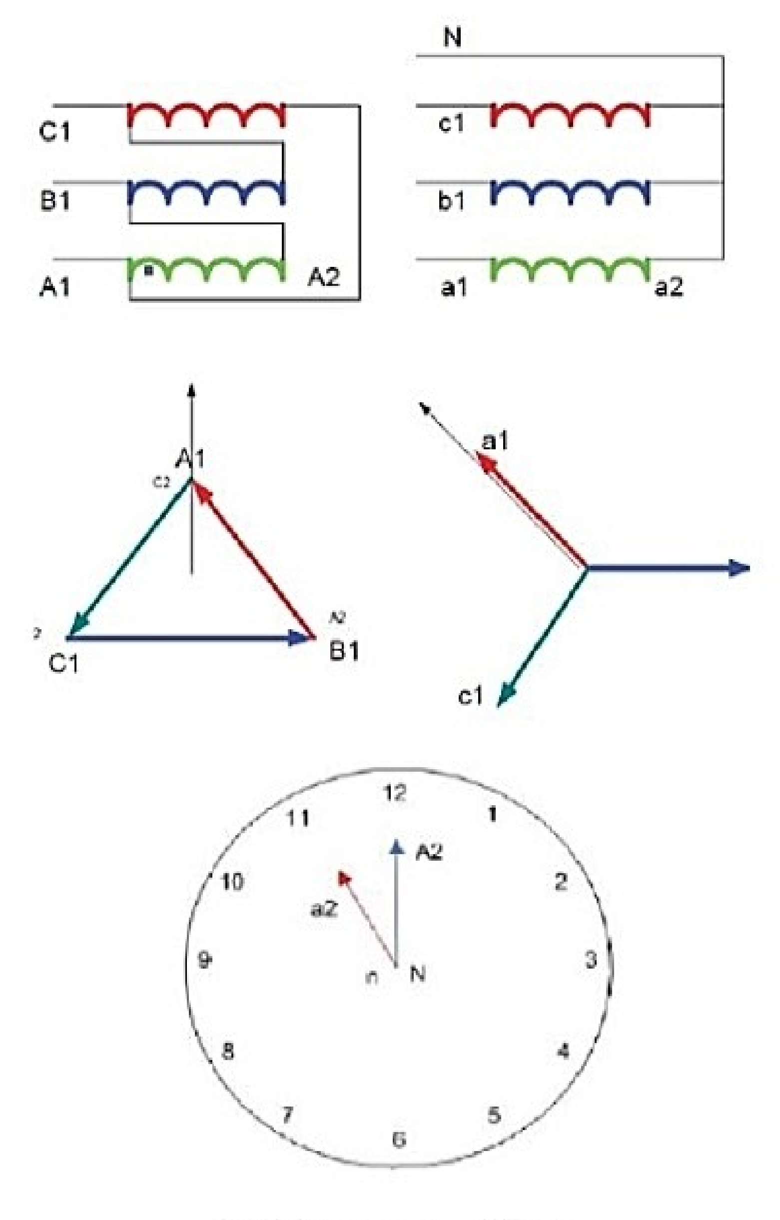
النتائج :

1- إذا كان الجهد 2U - 1N > 2V - 1N > 2W - 1N .

2- وكان الجهد 2V - 1W > 2V - 1V >2W - 1W .

فإن ذلك يعني أن المجموعة الاتجاهية هي Ynd11 .

كيفية رسم المجموعة الإتجاهية DYn11



الشكل (144) رسم المجموعة الإتجاهية DYN11

١- رسم متجهات الإبتدائي (دلتا) بحيث يكون إتجاه الدوران عكس عقارب الساعة (هو الإتجاه الأصلي في رسم المتجهات) كما في الشكل

2- رسم متجه NA1 يشير إلي الساعة 12 في الدلتا (نلاحظ أن الدلتا ليس بها النقطة N فيتم رسم N إفتراضية داخل مثلث الدلتا لتحديد جهد الوجه المكافئ لكل فاز)

3- نرسم المتجه a1a2 في النجمة بحيث يوازي A1A2 في الدلتا

4- نحدد الزاوية بينNA1 وبين المتجه a1 في النجمة فنجد أنها تساوي الحادية عشر وتكون المجموعة الأتجاهية Dyn11 لأن نقطة الأرضي لها ظهور في الثانوي وبالتالي يكون Phase displacement يساوي سالب 30

5- أي أن الجهد في الملف الثانوي يتقدم عن الجهد في الملف الابتدائي بزاوية مقدارها 30 درجة ، أي أنه عند دوران مؤشر الأبتدائي (مؤشر الدقائق) وهو المؤشر الذي يكون دائما يشير إلى الساعة 12 عكس عقارب الساعة فبعد 30 درجة يقابل مؤشر الثانوي (مؤشر الساعات)

6- الزاوية تكون موجبة عندما يكون الجهد في الثانوي متأخرا عن الجهد في الإبتداي

مما سبق يتبين أن الأساس في عمل المحولات على التوازي هو عدم وجود فرق في الطور بين ملفات الابتدائي والثانوي، وبالتالي فإن تطابق المجموعة الاتجاهية ليس شرطا في عمل المحولات على التوازي فمثلا المحولات ذات مجموعة التوصيل Dy1 & Yd1 يمكن أن تعمل معا على التوازي لأنه لا يوجد فرق في الطور بين الجهود في ملفات الابتدائي والثانوي.

8- **جهد المعاوقة** Voltage impedance (%٪)

تلعب معاوقة المحول دورا كبيرا في أدائه وخواصه سواء في ظروف التشغيل العادية أو في فترات قصر الدائرة، ولقد اتفق على الإشارة إلى معاوقة المحول بتعبير جهد المعاوقة.

وجهد معاوقة المحول هو الجهد اللازم تسليطه على أحد ملفي المحول لإمرار التيار المقنن في هذا الملف عندما تقصر دائرة الملف الآخر، ويتم التعبير عن جهد المعاوقة كنسبة مئوية من الجهد المقنن ورغم أن صغر قيمة المحول تعطي أداء أفضل من وجهة نظر تنظيم الجهد والكفاءة إلا أنه يجب الأخذ في الاعتبار تلك الظروف التي تنشأ عند حدوث قصر دائرة على المحول، وعادة ما تصمم المحولات بحيث تتحمل الإجهادات الحرارية والميكانيكية الناشئة عن تيار قصر لا يتعدى 25 مرة من قيمة تيار الحمل الكامل للمحول، وذلك لفترة زمنية لا تتجاوز ثانيتين، لذلك يجب ألا يزيد مقدار تيار القصر في المحول عن هذه القيمة، وعلى ذلك فإن على معاوقة المحول أن تسهم مع معاوقة باقي أجزاء الشبكة في الحد من قيمة تيارات القصر، أي أنه يجب أن يكون لمعاوقة المحول حد أدنى لا تقل عنه

ويعطي الجدول التالي قيما لمعاوقة محولات التوزيع ثلاثية الأطوار على تردد 50 هرتز بتوصيلة نجمة أو دلتا على أي جانب ويجب عند كتابة مواصفات المحول النص على أن تكون قيمة معاوقته في حدود هذه القيم

قيم للمعاوقة بالمائة لمحولات التوزيع ثلاثية الأطوار		
القدرة بالكيلوفولت أمبير	الجهد العالي بالكيلو فولت	
	KV 6.6	KV 11
من 5 إلى 15	4.75	4.75
من 20 إلى 75	4.5	4.5
من 100 إلى 200	4.75	5
من 250 إلى 1000	4.75	4.75
من 1250 إلى 2500	5	5
من 3000 إلى 7500		6

جهد المعاوقة للمحول له عدة استخدامات منها :

1- إذا كان قيمة جهد المعاوقة 5% فمعنى ذلك أنه عند تحميل المحول بالحمل الكامل فإن الهبوط في الجهد يكون 5%، فإذا كان لدينا محول 6600 / 400 ،

فمعنى ذلك أنه عند الحمل الكامل Full Load ستكون نسبة الهبوط في الجهد Voltage Drop خلال المعاوقة Impedance الداخلية للمحول تساوي أيضا 5% وهذا يعني أن الجهد على أطراف الجانب الثانوي سينخفض بنسبة 5% عن القيمة الاسمية عند التحميل الكامل وبالتالي يمكن حساب قيمة الجهد عند أطراف الثانوي أثناء التحميل الكامل مباشرة دون قياس.

2- عند عمل قصر على ملفات الثانوي، ورفع الجهد تدريجيا من الصفر على ملفات الابتدائي وقياس تيار المحول حتى نصل إلى القيمة الاسمي للتيار، فإن الجهد الذي يمرر قيمة التيار الكلي (جهد القصر) = 5% من الجهد الكلي.

3- كلما زادت قيمة الـ Z% كلما قلت قيمة تيار القصر Short circuit Capacity الناشئة في الجانب الآخر من المحول، لكن في هذه الحالة سوف ترتفع قيمة الهبوط في الجهد.

9- **تنظيم الجهد :** Voltage regulation

الجهد في الجانب الثانوي من المفروض أن يكون ثابتا ولا يتغير سواء كان المحول يعمل بدون حمل أو يعمل بحمل، لكن في الواقع ينخفض جهد الجانب الثانوي كلما زاد تحميل المحول، ويعبر عن هذا الانخفاض في الجهد بانتظام الجهد Voltage Regulation (V R)، وكلما كان معامل انتظام الجهد صغيرا كان ذلك أفضل لأن ذلك يعني أن جهد الثانوي لا يتاثر بالحمل.

والسبب في حدوث انخفاض للجهد في الجانب الثانوي مع تحميل المحول هو حدوث هبوط في الجهد Voltage Drop في معاوقة المحول نتيجة ارتفاع قيمة التيار المار بها.

ويعرف تنظيم الجهد للمحول والذي يعبر عنه كنسبة مئوية بالتالي :

(جهد الثانوي في اللاحمل – جهد الثانوي في الحمل) × 100/ (جهد الثانوي في الحمل)

ويمكن أن تكتب العلاقة السابقة تقريبيا كالتالي :

الإشارة الموجبة في حالة معامل القدرة المتأخر والإشارة السالبة في حالة معامل القدرة المتقدم .

$$\text{Regulation percentag} = \frac{E_{\text{no-load}} - E_{\text{full-load}}}{E_{\text{full-load}}}(100\%)$$

و يمكن تعريف معامل التنظيم على أنه هو التغير في الجهد الثانوي عندما يتغير الحمل من القيمة المقننة إلى الصفر وذلك في حالة ثبوت جهد الدخول.

العوامل التي يعتمد عليها معامل التنظيم :-

1- مقاومة الملفات Resistance .

2- الممانعة الحثية للملفات Reactance .

3- معامل القدرة للحمل Power Factor .

ويجب العلم أن القيمة المنخفضة للمعاوقة وخصوصا الممانعة الحثية تعمل على خفض معامل التنظيم وهو شئ مرغوب فيه على الرغم من أن نقص المعاوقة يسبب زيادة تيار الخطأ ، ومعامل التنظيم يزيد كذلك عندما يكون معامل القدرة للحمل متأخرا.

نلاحظ أن هناك فرقا بين الهبوط في الجهد Voltage Drop وبين تنظيم الجهد Voltage Regulation، فمرور التيار أثناء التحميل يخفض جهد الملف الثانوي لكنه يخفض أيضا جهد الملف الابتدائي، وهو ما يسمى بالهبوط في الجهد، وهو يحدث نتيجة مرور التيار في الحمل، أما الهبوط في جهد الثانوي قبل وبعد التحميل يسمى معامل التنظيم وهو يحدث نتيجة مرور التيار في معاوقة المحول.

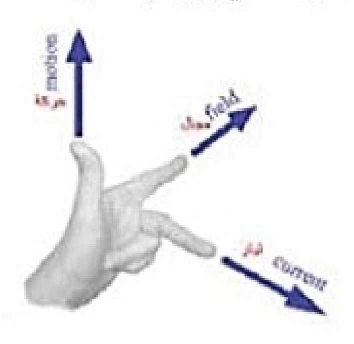
10 - حساب القوى الداخلية بين الملفات بالمحول

عند حدوث قصر في المحول Short Circuit يمر تيار كهربي عالي جدا بالملفات، ويتولد عن هذا التيار قوى ميكانيكية كبيرة جدا بين الموصلات الكهربية الحاملة للتيار، وهذه القوى قد تتسبب في تفكك المحول نفسه، فقد بين فارادي

أنه إذا وضع موصل يمر به تيار كهربي في مجال مغناطيسي، فإن هذا المجال يؤثر على الموصل بقوة يتم تحديدها عن طريق قاعدة اليد اليسري لفلمنج.

قاعدة اليد اليسرى لفلمنج

نجعل أصابع اليد اليسري الثلاثة الوسطي والسبابة والإبهام متعامدة بعضها على بعض بحيث يشير الوسطى للتيار والسبابة للفيض عندئذ يشير الإبهام إلى اتجاه القوة المغناطيسية وبالتالي إلى اتجاه حركة السلك.



الشكل (145)

ويمكن حساب القوة التي يتأثر بها الموصل من المعادلة التالية :

$$F = B \times I \times L \sin Ø$$

ومن المعادلة السابقة نجد أن هذه القوة تتأثر بالعوامل التالية :

1- طول الموصل (L) .

2- شدة التيار (I) .

3- كثافة الفيض المغناطيسي (B) .

4- الزاوية بين الموصل واتجاه المجال (Ø) .

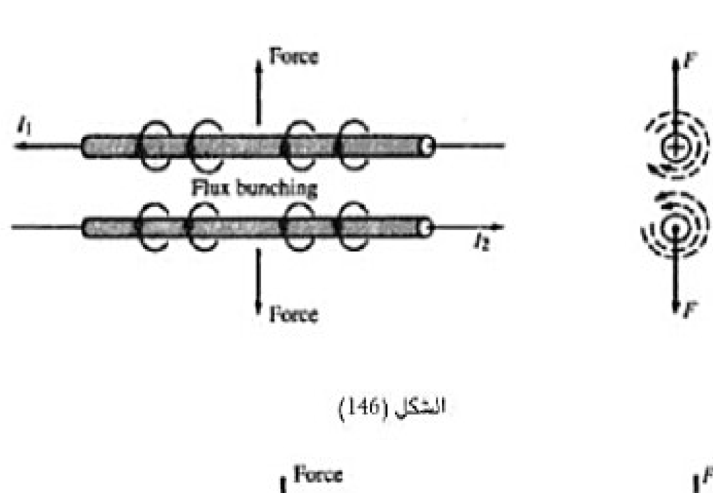
نلاحظ أن كثافة الفيض المغناطيسي B في المعادلة هي كثافة الفيض المتسرب وليس الفيض الأصلي الذي يمر بالقلب في المحول لأن الفيض الأصلي ترك الموصل ومر في القلب وأصبح غير مرتبط به.

فإذا كان لدينا موصلن متجاوران يمر في الموصل الأول تيار قيمته I1 ويمر

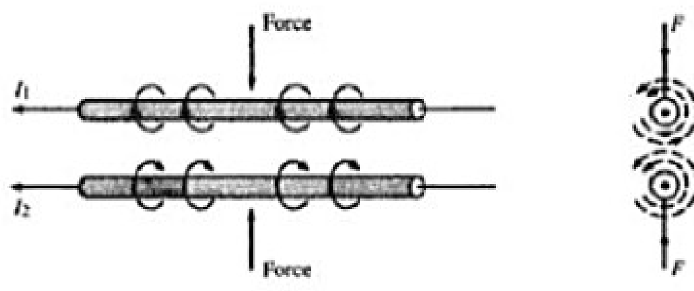
في الموصل الثاني تيار قيمته I2، فإنه تنشأ بينهما قوة تتوقف قيمتها على قيمة التيارين والمسافة بين الموصلين وتكون القوة إما قوة تجاذب أو قوة تنافر حسب اتجاه التيارين.

فإذا كانت اتجاه التيار الأول عكس اتجاه التيار الثاني فإن القوة بينهما تكون قوة تنافر كما في الشكل (146).

وإذا كانت اتجاه التيار الأول في نفس اتجاه التيار الثاني فإن القوة بينهما تكون قوة تجاذب كما في الشكل (147).



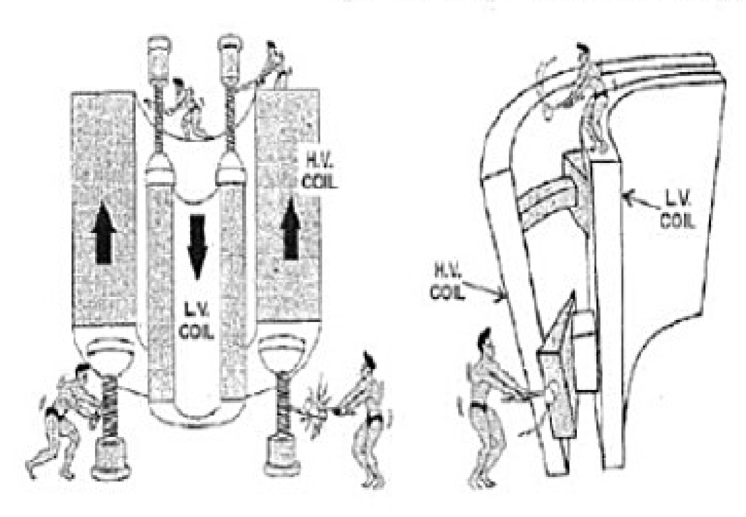
الشكل (146)



الشكل (147)

ففي المحول نتيجة لوجود فيض متسرب Leakage flux حول الملف الابتدائي والملف الثانوي، وعندما يكون اتجاه مرور التيار في الملف الابتدائي عكس اتجاه مرور التيار في الملف الثانوي فتتولد قوة طرد بينهما للخارج تزيد هذه القوة كلما زاد التيار.

فعند حدوث العطل يزيد التيار بصورة كبيرة جدا وبالتالي تزيد القوة الميكانيكية المتولدة وتميل الملفات ذات الجهد العالي للصعود لأعلى وتميل ملفات الجهد المنخفض للهبوط لأسفل، وفي نفس الوقت يميل الملفان الابتدائي والثانوي للتباعد أفقيا كما في الشكل التالي.



الشكل (148)

11- ظاهرة التشبع المغناطيسي Saturation

أقرب مثال لعملية التشبع المغناطيسي هو التكدس المروري في الشوارع، فإذا كان هناك عدد كبير جدا من السيارات في الشارع بحيث يكون عدد السيارات أكبر من السعة التصميمية للشارع فإن ذلك يؤدي تقريبا إلى توقف الحركة تماما.

و في المحولات فإن هذا التشبع معناه تراكم خطوط الفيض داخل القلب الحديدي بصورة كبيرة جدا لدرجة أنه لا يحدث تغير للفيض مع الزمن، وذلك يقلل من قيمة القدرة التي يتم نقلها من الملف الابتدائى إلى الملف الثانوي.

ما يسبب التشبع المغناطيسي :

1- التيار المستمر

الجهد المستمر المستخدم في قياس مقاومة العزل للملفات إذا سلط على طرفين ناحية جهة واحدة، فالملف الابتدائي يتكون من ثلاثة أطراف و الملف الثانوي يتكون من أربعة اطراف.

فعند وضع طرفي جهاز الميجر على أي طرفين لملف واحد، فإن التيار المستمر كما نعلم لا يرى المعاوقة ولكن يرى المقاومة الأومية فقط التي تكون صغيرة جدا في كلا الملفين فينتج عن ذلك تيار كبير جدا ينتج عنه فيض كبير جدا يؤدي إلى تشبع القلب الحديدي.

وذلك يقلل من قيمة القدرة التي يتم نقلها من الملف الابتدائى إلى الملف الثانوي.

لذلك يجب عمل قصر لملفات الابتدائي معا وقصر لملفات الثانوي معا عند عملية قياس مقاومة العزل وغير مسموح بتركهم من غير قصر.

2- التيار الاندفاعي للمحول inrush current

في حالة وجود مغناطيسية متبقية في القلب الحديدي، فعند فصل المحول للصيانة أو لأي سبب آخر وتشغيله مرة أخرى، فإذا تم غلق دائرة المحول وكانت موجة الجهد تقترب من الصفر، فإن موجة التيار تكون قيمة عظمى وبالتالي يكون الفيض قيمة عظمى هذا الفيض الكبير يعمل على تشبع القلب الحديدي.

3- تشغيل المحول على تردد غير التردد المصمم عليه المحول

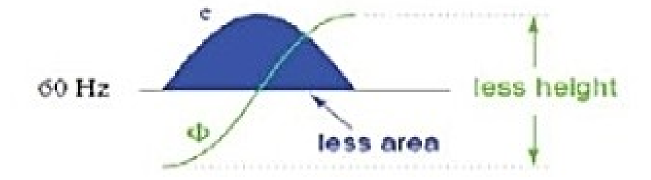
من أحد اسباب التشبع في القلب الحديدي هو تشغيل المحول بتردد أقل من التردد المصمم عليه المحول، فإذا كان المحول مصمما للعمل على تردد 60 هرتز

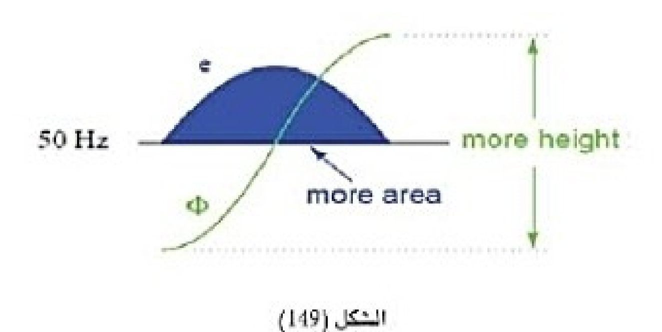
وتم تشغيله على تردد 50 هرتز وذلك في حالة ثبوت الجهد فإننا نلاحظ الآتي :

1- القيمة اللحظية للجهد Instantaneous voltage تتناسب مع القيمة اللحظية لمعدل تغير الفيض بالنسبة للزمن، وحيث إن الجهد ثابت فإن الجهد يصل إلى قيمة ذروة ثابتة Peak Value سواء كان المحول يعمل على تردد 60 هرتز أو 50 هرتز.

2- فإذا كان المحول مصمم للعمل على تردد 60 هرتز وتم تشغيلة على تردد 50 هرتز فإن الجهد يصل إلى قيمة الذروة Peak Value في زمن أطول، أي أن الزمن الذي يأخذه الجهد لكي يصل إلى قيمة الذروة عندما يعمل المحول عند تردد 50 هرتز يكون أطول من الزمن الذي يأخذه الجهد لكي يصل إلى قيمة الذروة عندما يعمل المحول عند تردد 60 هرتز.

3- حيث إن القيمة اللحظية للجهد Instantaneous voltage تتناسب مع القيمة اللحظية لمعدل تغير الفيض بالنسبة للزمن ، فعند زيادة الزمن الذي يصل فيه الجهد إلى قيمة الذروة نجد أن قيمة الفيض سوف تزيد وهذه الزيادة في الفيض قد تسبب تشبع القلب الحديدي للمحول





الشكل (149)

12- درجة عزل الملفات في المحولات Winding Insulation Class

حيث إن معظم مفاقيد المحول تظهر كحرارة في القلب الحديدي والملفات وباقي أجزاء المحول، فإذا زادت درجة حرارة التشغيل Operating temperature بمقدار 1 درجة مئوية فإن المفاقيد النحاسية (مفاقيد الحمل load Loss) تزيد بمقدار 0.4% وبالتالي هذا يؤثر على القدرة التحميلية للمحول، لذلك لابد من معرفة درجة حرارة التشغيل التي يعمل عندها المحول بدون مشاكل.

والمعادلة التالية يمكن من خلالها معرفة درجة حرارة التشغيل :

درجة حرارة التشغيل = درجة حرارة الوسط المحيط + الارتفاع في درجة الحرارة + درجة حرارة البقعة الساخنة

Operating Temperature = Ambient temperature +Temperature rise + Hot spot

1- درجة حرارة الوسط المحيط Ambient Temperature :

هي درجة حرارة الهواء أو الوسط الذي يعمل فيه المحول، وقد أوضحت المواصفة العالمية NEMA (National Electrical Manufacturers Association) أن درجة حرارة الوسط المحيط Ambient temperature هي 40 درجة مئوية.

2- الارتفاع في درجة الحرارة Temperature Rise :

هي الزيادة في درجة الحرارة المسموح بها عن درجة حرارة الوسط المحيط، وهي تعتمد على تحميل المحول.

3- درجة حرارة البقعة الساخنة Hot Spot Temperature :

حيث إن درجة حرارة الملفات غير منتظمة أو متماثلة عند كل نقطة في الملف، لذا يتم إضافة عامل أمان لحساب درجة حرارة أجزاء من الملفات تكون أكثر سخونة من الموقع الذي يتم فيه قياس درجة الحرارة، ويتم احتساب هذا المعامل بمقدار 10 درجة مئوية

4- أقصى درجة حرارة تشغيل Maximum Operating Transformer

هي أقصى درجة حرارة تشغيل يعمل عندها المحول بدون حدوث أي تلف لمكونات المحول، وعند زيادة درجة حرارة التشغيل بمقدار 10 درجات مئوية فإن عمر المحول يقل إلى النصف، وطبقا للمواصفة العالمية NEMA يتم تصنيع مواد العزل في المحولات لتحمل درجات حرارة التشغيل، وقد تم تسمية درجات العزل Insulation Class بحروف، وكل حرف يبين أقصى درجة حرارة يتحملها العزل، فمثلا الحرف A يدل على أن أقصى درجة حرارة تشغيل هي 105 درجة مئوية.

والجدول التالي يوضح درجات العزل Insulation Class وأقصى درجة حرارة تشغيل.

Temperature Insulation Class درجة العزل	Ambient temperature oC درجة حرارة الوسط الوسيط	Temperature rise oC الارتفاع في درجة الحرارة	Winding hot spot oC البقعة الساخنة في الملفات	Maximum Operature Temperature أقصى درجة حرارة تشغيل
Y	40	40	10	oC 90
A	40	60	5	oC 105
B	40	85	10	oC 130
F	40	105	10	oC 155
H	40	130	10	oC 180

فمثلا إذا تم تصميم محول وتم حساب الارتفاع في درجة الحرارة على أن يكون 75 درجة مئوية، فإن أقصى درجة حرارة تشغيل = 40 + 75 + 10 = 125 درجة مئوية، وبالتالي سوف تكون درجة العزل Insulation Class B، ولكن إذا فرض أن درجة حرارة الوسط الذي سوف يعمل فيه هذا المحول تساوي 55 درجة مئوية فإن أقصى درجة حرارة تشغيل = 55 + 75 + 10 = 140 درجة مئوية، لذا يتطلب ذلك

رفع درجة العزل من Insulation Class B إلى Insulation Class F، وفي حالة عدم القدرة اختيار مواد عازلة تناسب درجة عزل Insulation Class F يتم العمل على خفض الارتفاع في درجة الحرارة عن طريق استخدام موصلات نحاس ذات مساحة كبير أو مواد عالية الجودة لتصنيع القلب الحديدي أو استخدام وسائل تبريد لجعل الارتفاع في درجة الحرارة أقل ما يمكن.

١٢- كفاءة المحول

هي النسبة بين القدرة الكهربائية في الملف الثانوي إلى القدرة الكهربائية في الملف الابتدائي أو هي النسبة بين قدرة الملف الثانوي وقدرة الملف الابتدائي

$$\eta = \frac{\text{Power output}}{\text{Power input}}$$

Power output = Power input – Total losses

Power input = Power output + Pi + PCu

$$\eta = \frac{\text{Power output}}{\text{Power input}} = \frac{\text{Power output}}{\text{Power output} + P_i + P_{Cu}}$$

$$\eta_{FL} = \frac{P_{out}}{P_i + P_{SC} + P_{OC}} \cdot 100$$

ومن اختباري الـ Short circuit والـ Open circuit يمكن قياس كل من PSC، POC مباشرة من عداد الواتميتر المستخدم في الاختبارين.

كفاءة اليوم الكامل All day efficiency:

النسبة بين القدرة الكهربائية في الملف الثانوي إلى القدرة الكهربائية في الملف الابتدائي تسمى كفاءة المحول التجارية، ولكن نظرا لاختلاف ظروف التحميل خلال اليوم، فمفاقيد القلب الحديدي تكون طول اليوم (طالما يكون المحول في الخدمة) ولكن مفاقيد النحاس تكون فقط عندما يتم تحميل المحول،

لذلك لحساب الكفاءة بطريقة دقيقة، يتم حسابها خلال اليوم الكامل كالتالي :

$$\eta_{all.day} = \frac{\text{Output in kWh}}{\text{Input in kWh}} \text{(for 24 hours)}$$

من المعادلة السابقة نلاحظ أن كفاءة المحول التجارية تكون أكبر من كفاءة اليوم الكامل للمحولات.

14- القطبية في المحولات Polarity

القطبية في المحولات هي العلاقة الاتجاهية بين القوة الدافعة الكهربية المتولدة بالحث في كل من الملف الابتدائي والملف الثانوي، حيث إن الجهود E1 & E2 المتولدة بالحث في الملف الابتدائي والملف الثانوي يتم الحصول عليهم من نفس الحث المتبادل Mutual flux، وهي تشير إلى طريقة خروج الاطراف الخارجية للمحولات.

وترجع ضرورة دراسة القطبية إلى الآتي :

1- التركيب الصحيح للمحول الثلاثي الأوجه المكون من ثلاثة محولات أحادية الوجه Three phase transformer banks .

2- عمل المحولات على التوازي.

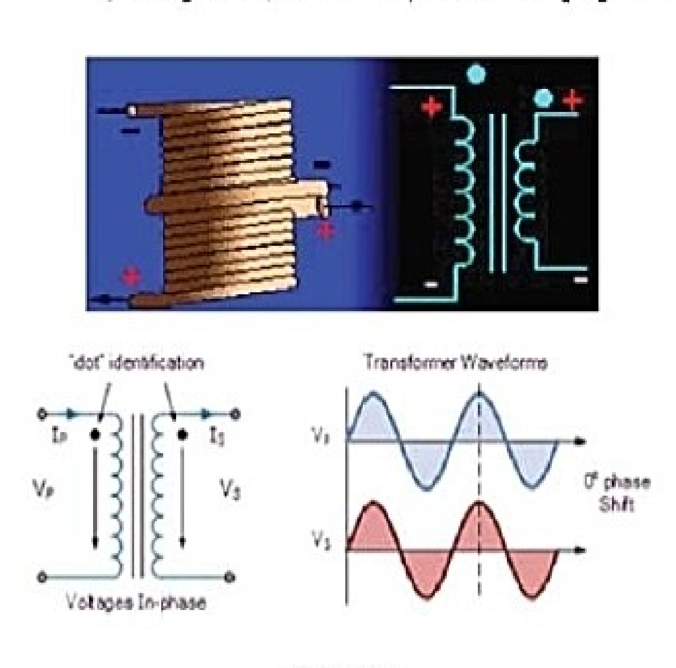
3- التوصيل الصحيح لمحولات الأجهزة Potential and current transformers .

وتعتمد القطبية بين ملفي المحول على عدة عوامل منها :

1- طريقة لف الملفين :

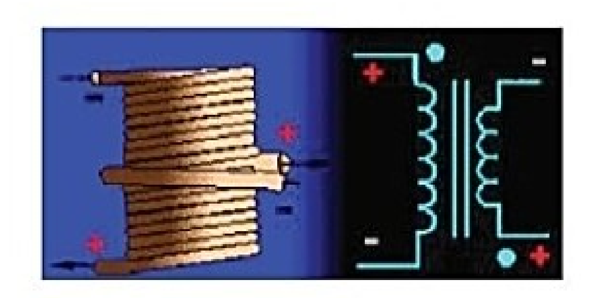
فإذا كان الملف الابتدائي ملفوفا في اتجاه عقارب الساعة من أعلى إلى أسفل والملف الثانوي ملفوفا في نفس الاتجاه أي في اتجاه عقارب الساعة، وحيث إن اتجاه الفيض المتولد في الملف الابتدائي هو نفس اتجاه الفيض المتولد في الملف الثانوي لذلك يكونون في نفس الوجه In phase أي إذا كان الطرف العلوي للملف الابتدائي يمثل أعلى قيمة للجهد فإن الطرف العلوي للملف الثانوي يمثل أعلى قيمة للجهد أيضا، وتسمى القطبية في هذه الحالة قطبية

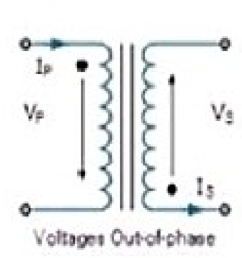
جمع Additive Polarity، وتم الاتفاق على بيان نوع القطبية على ترقيم النقطة Dot identification، فإذا تم وضع نقطة مستديرة مظللة أعلى كل ملف فهذا يعني أن القطبية تعتبر قطبية جمع أي أن الجهد المتولد بالحث في الملف الابتدائي والملف الثانوي في نفس الوجه (الزاوية بينهم تساوي صفرا).

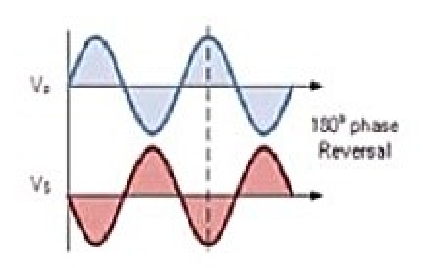


الشكل (150)

فإذا تم عكس اتجاه اللف كأن يكون الملف الابتدائي ملفوفا في اتجاه عقارب الساعة والملف الثانوي ملفوفا في اتجاه عكس عقارب الساعة فنلاحظ أنه إذا كان الطرف العلوي للملف الابتدائي يمثل أعلى قيمة للجهد فإن الطرف السفلي للملف الثانوي يمثل أعلى قيمة للجهد فيتم وضع نقطة أعلى الملف الابتدائي ونقطة أسفل الملف الثانوي وتعتبر القطبية في هذه الحالة قطبية طرح Subtractive Polarity أي أن الجهد المتولد بالحث في الملف الابتدائي والملف الثانوي بينهم زاوية 180°.







الشكل (151)

2- طريقة توصيل الملفات داخل المحول

في حالة المحول أحادي الوجه فإن الزاوية بين الملفين (الابتدائي والثانوي) إما تكون صفرا إذا كان الملفان ملفوفين في نفس الاتجاه أو تساوي 180^o إذا كان الملفان ملفوفين في عكس الاتجاه، وإذا كان المحول ثلاثي الوجه Three phase فإن الزاوية بين الملف الابتدائي والملف الثانوي من الممكن أن تكون 0° أو 30° أو 60° أو 90° أو 120° أو 150° أو 180° أي أن جهد الابتدائي والثانوي إما أن يكونوا في نفس الوجه In - phase أو يكون بينهم إزاحة بمقدار زاوية معينة.

3- طريقة توصيل أطراف الملفات الخارجية

وهناك حروف وأرقام للإشارة إلى أطراف المحولات منها :

1– H1 ، H2 ، H3 لأطراف الجهد العالي، X1، X2، X3 لأطراف الجهد المنخفض.

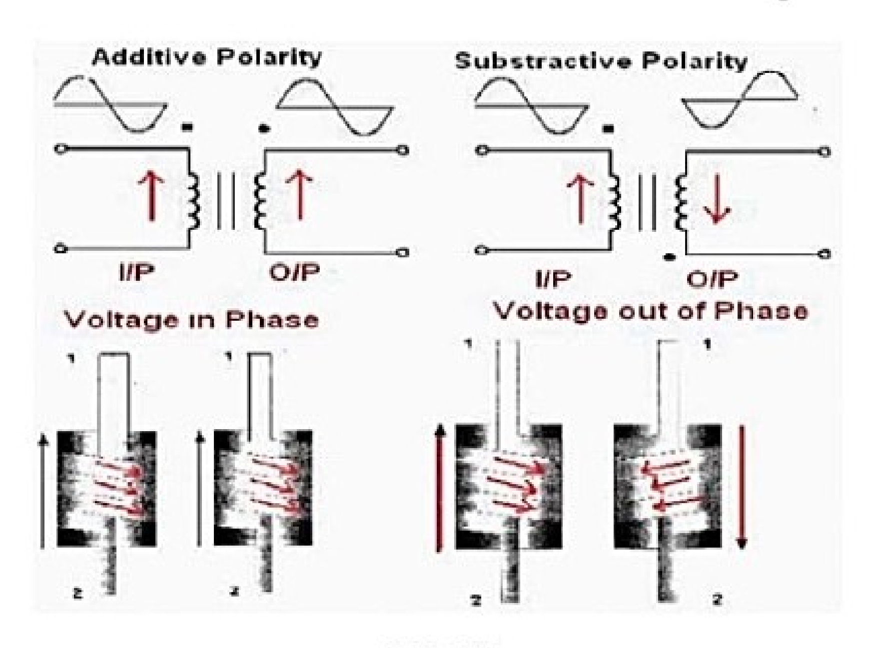
2– A2 ، B2 ، C2 لأطراف الجهد العالي، a1 ،b1 ، c1 لأطراف الجهد المنخفض.

3– 1U ، 1V ، 1W لأطراف الجهد العالي، 2U ، 2V ، 2W لأطراف الجهد المنخفض.

ويكون اتجاه القوة الدافعة المتولدة بالحث من الحرف ذي الرقم الأصغر إلى الحرف ذي الرقم الأكبر.

اختبار القطبية :

يمكن عمل اختبار تحديد القطبية إما بالجهد المتردد أو بالجهد المستمر كالتالي :



الشكل (152)

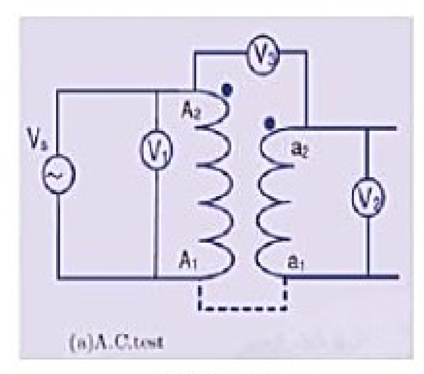
أولا : تحديد القطبية بالجهد المتردد

1- ربط الطرفين A1 في الملف الابتدائي والطرف a1 في الملف الثانوي.

2- تركيب ثلاثة فولتميتر لقياس الجهود V1 , V2 & V3 .

3- تسليط جهد متردد Vs (الجهد الاسمي لملفات الجهد المنخفض)على أطراف الملف الابتدائي.

4- إذا كان الجهد V3 = V1 - V2 فتكون القطبية سليمة وهي قطبية جمع.



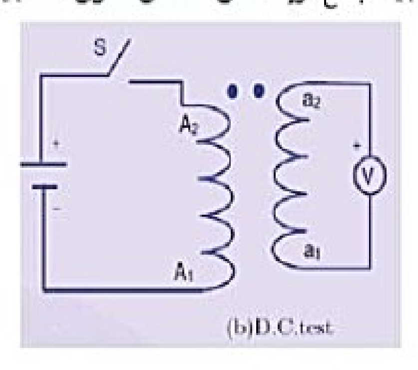
الشكل (153)

ثانيا : تحديد القطبية بالجهد المستمر

1- يتم توصيل مصدر جهد مستمر ذي جهد مناسب (9 فولت) إلى طرفي الملف الابتدائي من خلال مفتاح توصيل بحيث يوصل الطرف الموجب إلى A2 والطرف السالب إلى A1 .

2- توصيل أفوميتر تيار مستمر ذي مؤشر صفر تدريجة في الوسط إلى أطراف الملف الثانوي بحيث يوصل الطرف الموجب للأفوميتر مع a2 ويوصل الطرف السالب للأفوميتر مع a1 .

3- يتم الضغط على المفتاح ضغطة سريعة مع ملاحظة حركة مؤشر الافوميتر فإذا كانت الحركة في اتجاه التدريج الموجب للافوميتر كانت قطبية المحول سليمة وهي قطبية جمع، وإذا كان العكس تكون القطبية قطبية طرح.



الشكل (154)

الفصل الثاني

تأريض نقطة التعادل في المحولات

تصمم دوائر وشبكات القوى الكهربية بحيث تعمل بصورة متماثلة على الأطوار والخطوط الثلاثة وبحيث يكون مجموع التيارات في الخطوط الثلاثة مساوية للصفر وذلك في حالة التماثل التام وبهذا الأداء يتحقق الآتي :

1- نقطة التعادل N هي نقطة اشتراك الفازات الثلاث حيث تربط الأطراف الثلاثة للفازات وتؤخذ نقطة مشتركة وتخرج خارج المحول معزولة عن طريق عازل اختراق وجهدها يساوي الصفر (جهد الأرض) سواء تم توصيلها بالأرض أم لا، وإذا تم توصيل نقطة التعادل بالأرض فلا يمر تيار بينهما .

3- التيار المار في سلك التعادل يساوي الصفر وبذلك فإن جهد هذا السلك يساوي الصفر أيضا (جهد الأرض)، وهذه الحالة المثالية لا تحدث عادة في ظروف التشغيل العادي نظرا لعدم إمكانية تحقق التماثل التام بين الأطوار الثلاثة .

وبذلك تصبح الحالة العادية للتشغيل كالآتي :

1- تيارات الخطوط الثلاثة غير متماثلة، وبذلك فإن مجموعها لا يساوي الصفر ، ويمر هذا المجموع في سلك التعادل ويعرف باسم تيار التعادل Neutral Current وهو لا يتعدى حوالي% 8 من تيار الوجه في حالات التشغيل العادية.

2- ينتج عن ذلك ارتفاع جهد نقطة التعادل إذا كانت غير موصلة بالأرض، أما إذا تم توصيلها بالأرض فإنها تحتفظ بجهدها مساويا للصفر (جهد الأرض) عند نقطة التوصيل بالأرض فقط أما سلك التعادل فإن جهده

يساوي الصفر عند نقطة التعادل، إلا أن هذا الجهد يرتفع على السلك كلما ابتعدنا عن نقطة التأريض.

ويتم عادة تأريض نقطة التعادل بالأرض إما بصورة مباشرة أو من خلال معاوقة منخفضة لضمان أداء الشبكة بصورة سليمة أثناء القصر الأرضي وتحقيق ما يلي :

1- عدم حدوث ارتفاعات شديدة في جهود نقطة التعادل وكذلك الخطوط السليمة.

2- تحقيق قيمة عالية لتيارات قصر الدائرة تكون كافية لتشغيل أجهزة الحماية والفصل.

3 - تحقيق أداء جيد لمنظومة التأريض الوقائي Protective Earthing .

4- حماية الأفراد من مخاطر الصدمات الكهربية غير المباشرة والتي تحدث نتيجة لتلامس الفرد مع جسم معدني غير مكهرب أثناء فترة مرور تيار القصر الأرضي.

يوجد ثلاث طرق لتأريض نقطة التعادل في المحولات، وذلك بغرض تحديد أو تقليل تيار القصر إلى قيم مناسبة لتشغيل أجهزة الحماية مع الأرضي هي :

1- النظام المعزول Neural Isolated .

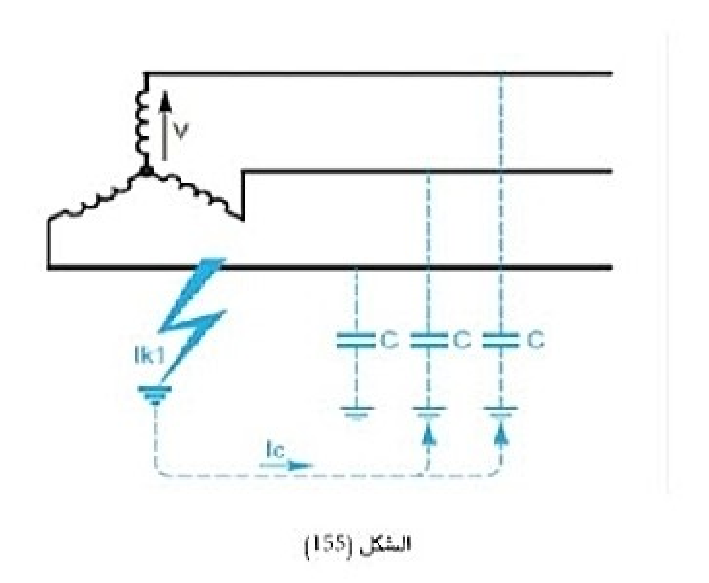
2- التوصيل المباشر مع الأرض Neutral Solidy earthed .

3- التوصيل مع الأرض عن طريق معاوقة Empedance Earthing .

أولا : النظام المعزول Neural Isolated

في هذا النظام لا يوجد اتصال بين نقطة التعادل Neutral والأرض Earth، وحيث إن أي موصلين بينهما مادة عازلة يمكن تمثيله بمكثف فسوف يتكون مكثف بين الأرض، وأي موصل ويتكون مكثف أيضا بين أي موصلين، ولذلك يمكن القول بأنه في حالة النظام ذي الثلاثة أوجه يوجد بين كل وجهين مكثف وتمثل مجموعة هذه المكثفات توصيلة دلتا Delta وحيث إن مجموعة هذه المكثفات غير متصلة بالأرض فليس لها تأثير لذلك يتم إهمالها، وكذلك

يوجد بين كل وجه والأرض مكثف، وتمثل هذه المكثفات توصيلة نجمة Star وتكون التيارات ICR، ICS & ICT متساوية ويكون بينهما زوايا 120 درجة وذلك في حالة مصدر جهد ثلاثي متزن ويكون جهد نقطة التعادل للمكثفات هو جهد الأرض، وبالتالي يكون جهد نقطة التعادل للمحول هو جهد الأرض أيضا وحيث إن النظام متزن يمكن القول بأن النظام مؤرض خلال مجموعة المكثفات الافتراضية CR، CS & CT، وفي هذا النظام إذا حدث قصر بين أي وجه والأرض فإن التيار السعوي يمر بالوجهين الأخرين خلال المكثف بين الأرض والخط، وهذا التيار السعوي يكون غير كافٍ لتشغيل أجهزة الوقاية ولكن يساعد على استمرار وبقاء القوس الكهربي خلال العوازل للوجه العاطل وذلك يؤدي إلى زيادة الجهد على الوجهين الآخرين.



الشكل (155)

التيار المار أثناء العيب Fault current يمكن حسابه كالتالي :

$$IK1 = I_c = 3 \times C \times \omega \times V$$

حيث :

V = جهد الوجه Phase to neutral voltage

C = **السعة بين الوجه والأرض** Phase to earth capacitance of a phase

ω = 2 π F حيث π النسبة الطبيعية 22/7 وF التردد = 50 هيرتز

مميزات هذا النظام :

1- عند حدوث قصر Short مع الأرض فإن تيار القصر يكون صغيرا جدا.

عيوب هذا النظام :

1- **عند حدوث قصر بين أحد الأوجه Phase والأرضي فإن الجهد على الوجهين الآخرين** (Phase Voltage) سيرتفع إلى قيمة جهد الخط Line Voltage، فإذا استمر هذا الجهد على العوازل لمدة طويلة فقد يسبب انهيار العوازل.

2- حيث إن قيمة تيار القصر تكون صغيرة فإن هذا التيار لا يكفي لتشغيل أجهزة الوقاية.

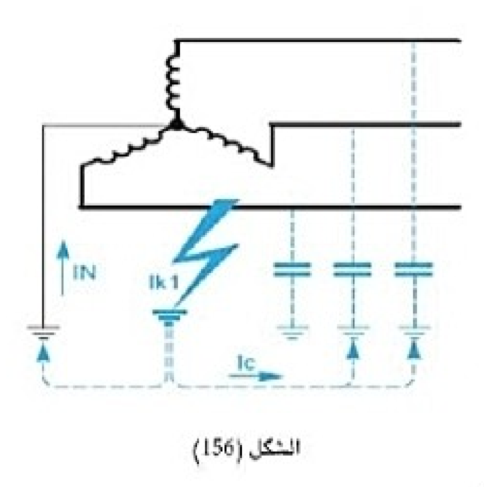
3- قد ينشأ قوس كهربي مستمر Arcing Voltage بين الخط والأرض عند حدوث قصر.

4- في حالة حدوث قصر لا يمكن تحديده بسهولة.

ثانيا : التوصيل المباشر مع الأرض Neutral Solidy earthed

في هذا النظام يتم التوصيل بين نقطة التعادل Neutral والأرض Earth عن طريق كابل أرضي ولا يوجد أي معاوقة بين نقطة التعادل والأرض، وفي هذا النظام يفضل فصل أرضي نقطة التعادل عن أرضي جسم المحول حتى لا يرتفع الجهد على جسم المحول أثناء حدوث قصر بين أي وجه والأرض، وهذه الحالة هي المتبعة لمحولات التوزيع حيث إن طرف التعادل الخارج n من المحول جهة الجهد المنخفض (380 فولت) يتم تأريضه مباشرة، ويتم فيه

توصيل نقطة التعادل بالأرض مباشرة دون وجود أي معاوقة بينهما وهو أرخص أنواع التأريض.



الشكل (156)

مميزات هذا النظام :

1- عند حدوث قصر بين أحد الأوجه والأرضي فإن الجهد على الوجهين الآخرين سوف يصبح ثابت ولا يتأثر بالقصر، وهذا النظام مناسب في شبكات الجهد المنخفض، حيث لا يتم فقد كل التغذية عند حدوث قصر مع الأرضي .

2- وجود مسار لتيار القصر يعمل على تشغيل أجهزة الوقاية.

3- لا ينشأ قوس كهربي مستمر بين الخط والأرض عند حدوث قصر، لأن تيار القصر يمر في دائرة القصر من الخط إلى نقطة التعادل خلال الأرض.

عيوب هذا النظام :

1- تيار القصر في حالة القصر مع الأرضي يكون كبير وقد يتعدى قيمة تيار القصر على الأوجه الثلاثة، مما يستلزم مفاتيح لها سعات فصل كبيرة وقد يتلف العوازل أو الكابلات أو يحرق ملفات المحول أيهما أضعف.

2- تيار القصر الكبير قد يحتوي على مركبات ذات تردد عالي، قد تتداخل مع دوائر الاتصالات.

ثالثا: التوصيل مع الأرض عن طريق معاوقة Impedance Earthing

يوجد ثلاثة أنواع من التأريض خلال معاوقة هي :

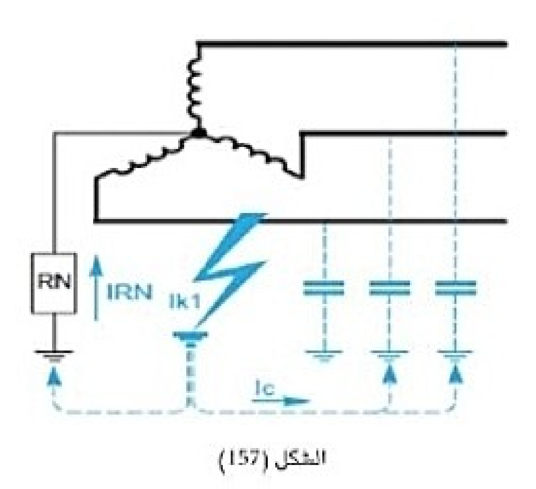
1- تأريض نقطة التعادل خلال مقاومة Resistance Earthed .

2- تأريض نقطة التعادل خلال ملف Reactor Earthed .

3- تأريض نقطة التعادل خلال ملف بيترسون Petersen Coil Earthed .

أولا : تأريض نقطة التعادل خلال مقاومة Resistance Earthed

في هذا النظام يتم توصيل مقاومة مناسبة بين نقطة التعادل والأرض وذلك للحد من تيار القصر، ويتم تحديد قيمة مقاومة التأريض تبعا لقيمة تيار القصر المراد مروره وقت القصر وهي الحالة المتبعة في محطات المحولات حيث تؤرض نقطة التعادل جهة 11 ك.ف أو 6.6 ك.ف من خلال مقاومة مقدارها 20 أوم أو 12 أوم أو 10.58 أوم.



الشكل (157)

وفي هذا النظام نلاحظ الآتي :

1- تيار الخطأ الأرضي يساوي IK1 وهو يساوي مجموع التيار IRN وهو يمر في المقاومة والتيار IC وهو مجموع التيار السعوي Capacitive current في النظام، ويجب أن يكون التيار الذي يمر في المقاومة أكبر من أو يساوي التيار السعوي ($IRN \geq 2\ IC$).

2- يستخدم هذا النظام في محطات التوزيع Distribution systems التي يكون فيها تيار الخطأ الأرضي حوالي 100 أمبير إلى 300 أمبير وهذا التيار يمكن تحديده بسهولة عن طريق أجهزة الوقاية.

مميزات نظام التأريض خلال مقاومة:

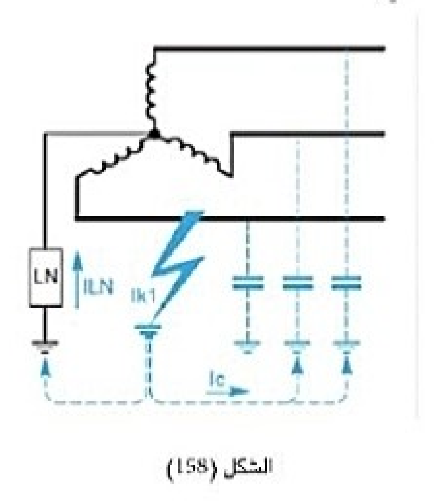
1- يكون تيار القصر كافيا لتشغيل أجهزة الوقاية.

2- تقليل مخاطر القوس الكهربي، وبالتالي تقليل مخاطر الجهود الفجائية العالية التي تحدوث في نظام التأريض المعزول.

3- وجود المقاومة يحد من تيار القصر وفي الوقت نفسه يحول مرور هذا التيار دون ارتفاع الجهد لنقطة التعادل ارتفاعا كبيرا مما يحد من ارتفاعات الجهد المصاحبة للأخطاء، وهذا بدوره يحقق عمرا افتراضيا أطول للعوازل والآلات المتصلة بالمنظومة.

ثانيا : تأريض نقطة التعادل خلال ملف Reactance Earthed

في هذا النظام يتم توصيل ملف بين نقطة التعادل Neutral والأرض Earth وذلك للحد من تيار القصر، وهذا النظام هو حالة وسط بين التأريض المباشر لنقطة التعادل وبين التأريض من خلال مقاومة، وهذا النظام يستخدم عادة في شبكات الجهد العالي.



الشكل (158)

وفي هذا النظام نلاحظ الآتي :

1- تيار الخطأ الأرضي يساوي IK1 وهو يساوي مجموع التيار ILN، وهو يمر في الملف والتيار IC وهو مجموع التيار السعوي Capacitive current في النظام Power system ويجب أن يكون التيار الذي يمر في الملف أكبر بكثير من التيار السعوي.

2- يستخدم هذا النظام في محطات التوزيع Distribution systems التي يكون فيها تيار الخطأ الأرضي حوالي 300 أمبير إلى 1000 أمبير وهذا التيار يمكن تحديده بسهولة عن طريق أجهزة الوقاية.

مميزات نظام التأريض خلال ملف

1- يكون تيار القصر كافيا لتشغيل أجهزة الوقاية.

2- في شبكات الجهد العالي يكون هذا النظام أرخص من نظام التأريض خلال مقاومة.

3- يكون تيار القصر أقل منه في نظام التأريض المباشر.

4- الملف له مقاومة مادية صغيرة وبالتالي لا يشع كميات كبيرة من الحرارة، لذلك يمكن أن يكون الملف صغير الحجم.

5- تقليل مخاطر الجهود الفجائية العالية، فالجهود العابرة Transient Voltage تعرف بأنها الانحراف المفاجئ والمحدد عن مستوى الجهد الاسمي وتستمر من 200 ميكروثانية حتى نصف ثانية، ومن أسباب حدوث الجهود العابرة ما يلي :

أ- شرارات الصواعق :

وهي شحنات كهربائية تحدث من السحب على شكل برق ذو ترددات عالية وجهد مرتفع وتهبط على الأماكن المرتفعة مثل قمم الجبال والعمارات العالية والمآذن وخطوط الكهرباء والأشجار والأسوار وقد تدمر المكان الذي تنزل عليه، وتتكون هذه الشحنات عندما تنشأ السحب في طبقات الجو العليا وتعرضها للأحتكاك بفعل العواصف والرياح وتعرضها للأشعة الكونية فإن ذلك يتسبب في شحن بعض السحب بالإلكترونيات الزائدة عن حاجتها وتجعلها في حالة

مضطربة وغير مستقرة مما يجعلها تتخلص من هذه الشحنات على شكل تفريغ كهربائي في سحابة أو طائرة تمر بالقرب منها أو تتجه إلى الأرض لتفريغ شحنتها في الأماكن العالية من سطح الأرض.

ب- الكهرباء الاستاتيكية :

وهي عبارة عن شحنات كهربائية يصل بعضها إلى جهود مرتفعة جداً وتتولد نتيجة للاحتكاك بين مادتين مختلفتين مما يسبب انتقال بعض الإلكترونيات من أحداهما إلى الأخرى فالمادة التي أخذت إلكترونيات تصبح سالبة والتي فقدت الإلكترونيات تصبح موجبة وتصبح هاتين المادتين في حالة غير مستقرة إلى أن تعود كل منها إلى وضعها الطبيعي وعند تحرك هذه الشحنات يحصل سريان لحظي للتيار الكهربائي كما تحصل شرارة كهربائية عند تحرك الشحنات من موقع إلى آخر عبر الجو، أي عندما تقفز تلك الشحنات من جسم ذي كمية عالية من الشحنات إلى الجسم الآخر ذي شحنات أقل .

ج- فصل وتوصيل الدوائر الكهربائية :

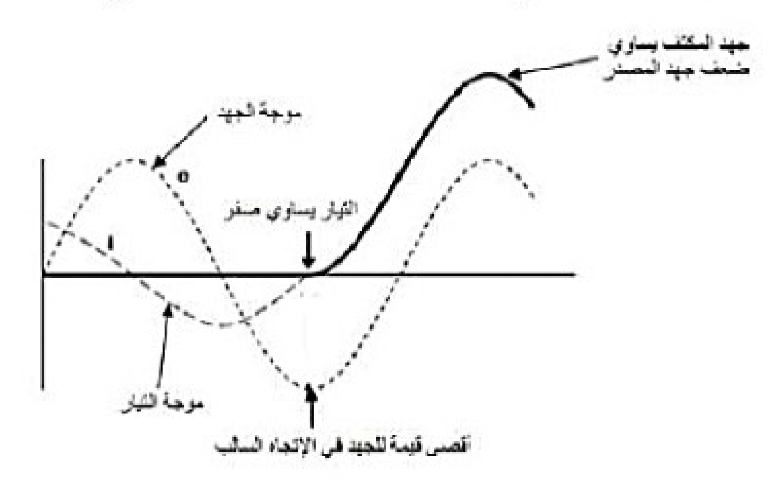
تحدث الشرارة الكهربائية على ملامسات كل قطب عند لحظة تماسها كذلك عند لحظة ابتعادها، وسبب حدوث هذه الشرارة هو تأين الهواء (كسر عازليته) الموجود ضمن مسافة معينة و في لحظة معينة بين الملامس المتحرك والملامس الثابت بسبب فرق الجهد الموجود بينهما والذي يتولد نتيجة الطاقة المخزنة في ملفات المعدات (محركات – محولات – مولدات – ملفات خانقة – ....) وهذا الجهد يتم التعبير عنه بالمعادلة التالية:

$$e = L\, di/dt$$

وتزداد هذه الشرارة كلما ازداد الفرق وكذلك كلما ازداد تشبع الهواء بالرطوبة و الغبار.

د- تشغيل المكثفات :

في الدوائر الكهربية التي تحتوي على مكثفات فإن التيار يسبق الجهد بزاوية مقدارها 90 درجة، فإذا تم خروج المكثف من الدائرة في اللحظة التي يكون فيها الجهد عند أقصى قيمة في الاتجاه السالب، فعند دخول المكثف في الدائرة مرة أخرى في اللحظة التي يكون فيها الجهد عند أقصى قيمة في الاتجاه الموجب فإن الجهد على المكثف يكون في هذه الحالة ضعف قيمة الجهد كما في الشكل التالي

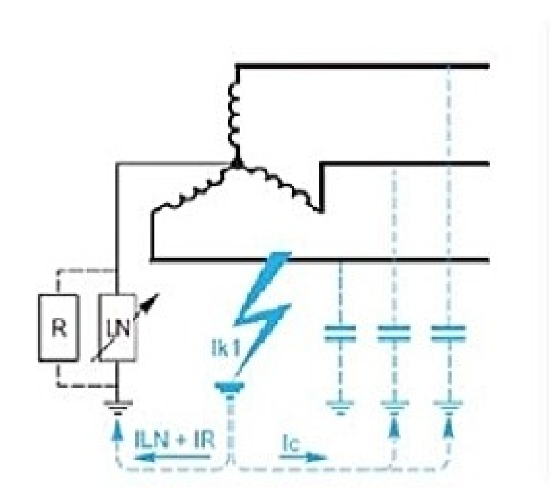


الشكل (159)

ثالثا : تأريض نقطة التعادل خلال ملف بيترسون Petersen Coil Earthed

يطلق على هذا النظام ملف بيترسون أو ملف إخماد القوس الكهربي Arc Suppression Coil وفي هذا النظام يتم إضافة ملف إخماد القوس الكهربي خلال نقطة التعادل لمحول القدرة، ومن خلال الملف يتم تعادل تيار ملف إخماد القوس مع التيار السعوي بحيث يكون تيار القصر الأرضي وهو الفرق بين تيار الملف والتيار السعوي صغير جدا أو يساوي صفر، وبالتالي يتم تقليل عدد مرات الفصل عند حدوث قصر لوجه مع الأرض حيث يتم التخلص من العطل ذاتيا عن طريق معادلة التيار التأثيري بالتيار السعوي للدائرة، فإذا كان التيار

المار في الملف IL إلى الأرض فإنه يتم ضبط خطوة الملف بحيث يتساوي تيار الممانعة IL مع التيار السعوي IC وفي هذه الحالة يصبح تيار القصر للوجه مع الأرض يساوي صفرا.



الشكل (160)

في هذا النظام يتم تعويض التيار السعوي الموجود بالنظام Power system، فتيار الخطأ الأرضي يساوي IK1 وهو يساوي مجموع التيار الحثي ILN وهو يمر في الملف والتيار IC وهو مجموع التيار السعوي Capacitive current في النظام Power system وحيث إن اتجاه هذين التيارين معكوس فيلاشي كلا منهما الآخر.

مميزات هذا النظام

1- يكون تيار القصر صغير جدا حتى لو كان التيار السعوي كبيرا.

2- يتم الحد من جهد التماس Touch voltage عند مكان العطل.

3- يتم استمرار المنظومة في العمل حتى في حالة الأخطاء الدائمة.

4- يتم بيان العطل عن طريق التيار المار في الملف ويكون كافيا لتشغيل أجهزة الوقاية.

الفصل الثالث

اختيار محولات التوزيع

اختيار محولات التوزيع

هناك عدة عوامل يجب أخذها في الاعتبار عند اختيار المحولات هي :

1- عوامل تخص المصدر.

2- عوامل تخص المكان الذي سيعمل فيه المحول والوسط المحيط.

3- عوامل تخص المحول نفسه.

4- عوامل تخص الحمل وظروف التشغيل.

أولا : العوامل التي تخص المصدر

1- (جهد الدخول) جهد الابتدائي وهو جهد المصدر Source voltage .

2- تردد المصدر Frequancy .

ثانيا : العوامل التي تخص المكان الذي سيعمل فيه المحول والوسط المحيط

1- درجة حرارة الوسط المحيط Ambient temperature ويتم اعتبارها 40c°، حيث يتم التعديل في تحميل المحول عند زيادة درجة الحرارة، فكل زيادة بمقدار 10 درجات عن درجة حرارة الوسط المحيط يتم عمل Derating للمحول بنسبة% 8 من قدرة المحول.

2- أقصى ارتفاع يعمل عليه المحول High altitude فأقصى ارتفاع مسموح به هو 1000 متر فوق سطح البحر، فكل زيادة بمقدار 100 متر عن أقصى ارتفاع مسموح به يتم عمل Derating للمحول بنسبة 0.3% من قدرة المحول والسبب قلة كثافة الهواء المستخدم لتبريد المحول.

3- هل المحول سيعمل داخل المباني Indoor أو خارج المباني Outdoor .

ثالثا : العوامل التي تخص المحول نفسه

1- طريقة توصيل ملفات الابتدائي والثانوي Star - Delta .

2- المجموعة الاتجاهية للمحول (في محولات التوزيع تكون المجموعة الاتجاهية Dyn11).

3- درجة عزل الملفات Insulation class .

4- جهد المعاوقة للمحول Voltage impedance (Z%).

5- مغير الخطوة Tap changer .

6- الملحقات المطلوبة مع المحول (خزان احتياطي - عداد درجة حرارة الزيت - عداد درجة حرارة الملفات - بلف تنفيس الضغط - بوخهلز ريلاي - وعاء سليكاجل - عداد مبين مستوى الزيت).

7- للحصول على كفاءة المحول يجب أن يتم تحميل المحول من% 60 إلى 80%.

رابعا : العوامل التي تخص الحمل وظروف التشغيل

1- جهد الخروج(جهد الثانوي) وهو جهد الحمل Load voltage

2- التيار الاسمي للحمل Rated current .

3- تردد الحمل وهو لابد أن يساوي تردد المصدر.

4- معامل القدرة للحمل.

5- تيار البدء للحمل Starting current .

6- الهبوط في الجهد Voltage drop .

7- القدرة بالـKVA، حيث يتم اختيار قدرة المحول حسب قيمة الأحمال :

فمثلا إذا كان لدينا محرك ثلاثي الأوجه، قدرته 120 كيلووات، وجهد التشغيل 400 فولت ومعامل القدرة متأخر 0.8 وتردد المحرك 50 هيرتز ويتم تشغيل المحرك عن طريق التوصيل المباشر Direct on line ونفترض أن مكان عمل المحرك بجوار المحول حتى نتخلص من الهبوط في الجهد الناتج عن طول الكابل بالمتر بين المحرك والمحول ونوع مادة موصل الكابل (نحاس أو ألومنيوم) ونوع مادة العزل للكابل (XLPE أو PVC) ومساحة مقطع الكابل بالـ مم2.

وبالتالي يتم حساب تيار المحرك كالتالي :

$$P = \sqrt{3}\, V \times I \times \cos\emptyset$$

I – 120000 / 400 × 1.73 × 0.8 – 217 A

فإذا تم اختيار محول قدرته500 كيلوفولت أمبير، جهد الابتدائي 6600 فولت، جهد الثانوي 400 فولت وتردد المصدر والحمل 50 هيرتز وجهد المعاوقة لهذا المحول% 4 .

فلمعرفة هل هذا المحول مناسب لتغذية الحمل المطلوب نتبع الخطوات التالية :

1- حساب التيار الاسمي للمحول في الجانب الابتدائي والجانب الثانوي من العلاقة:

$$kVA(3\emptyset) = \frac{Volts \times Amps \times 1.732}{1000}$$

I = 500000 / 400 × 1.732

Irated secondary = 721.7 A

I rated primary – 43.74 A

2- قدرة المحرك بالكيلوفولت أمبير = 150 ك.ف.أ طبقا للمعادلة التالية :

$$kVA(3\emptyset) = \frac{Volts \times Amps \times 1.732}{1000}$$

أو المعادلة :

$$\text{kVA} = \frac{\text{Wattage}}{(1000 \times \text{Power Factor of the load})}$$

3- عند عمل قصر على ملفات الثانوي ، ورفع الجهد تدريجيا من الصفر على ملفات الابتدائي وقياس تيار المحول حتى نصل إلى القيمة الاسمية للتيار فإن قيمة الجهد الذي يمرر قيمة التيار الكلي تساوي 330 فولت

4- معاوقة القصر للمحول

(330/721.7)/16.5-0.0277 Ω

وعن طريق تطبيق قانون أوم يكون تيار القصر

SCA = 400 / 0.0277 = 14440 A

5- تيار القصر للمحول يمكن حسابة أيضا من المعادلة التالية :

$$SCA_{secondary} = (FLA_{secondary} \times 100)/(\%Z_{transformer})$$

SCA = 721.7 × 100 / 5 = 14434 A

6- سعة المحول القصوى عند التيار القصر الأقصى = 10000 ك ف أ

7- تيار البدء للمحرك (بفرض أن تيار البدء 5 أضعاف التيار الاسمي) = 1085 أمبير

8- حمل المحرك عند البدء = 751.71 ك ف أ

9- حسب مواصفات ومقاييس NEMA للمحركات يسمح بالارتفاع أو الانخفاض فى الجهد بـ 10 % ، عليه فإن الجهد عند بدء التشغيل يجب الا يقل عن 360 فولت.

10- مقدار الهبوط في الجهد عند التحميل الكامل للمحول

721.7 × 0.0277 = 20 فولت

أي أن الجهد على أطراف المحول عند التحميل الكامل

400 – 20 = 380 فولت.

11- مقدار الهبوط في الجهد نتيجة تيار البدء للمحرك

1085 × 0.0277 = 30 فولت،

أي أن الجهد على أطراف المحول عند بدء حركة المحرك

400 – 30 = 370 فولت.

هذا المحول مناسب لهذا الحمل بل يمكن إضافة أحمال أخرى .

بعض الاحتياطات عند اختيار المحول

1- في حالة وجود أكثر من محرك يتم الحساب على أساس أكبرمحرك في القدرة.

2- مراعاة قدرة المحول في حالة الأحمال الوجه الواحد Single phase، فمثلا إذا كان هناك سخان كهربي Heater وجه واحد قدرته 5 ك.ف.أ ، فيتم إضافة 3 × 5 ك.ف.أ على قدرة المحول.

3- إذا كان المحرك يتم تشغيلة وفصلة أكثر من مرة في الساعة يتم زيادة قدرة المحول بقيمة 20 % .

4- إذا كان معامل الخدمة Service Factor للمحرك يزيد عن 1 فيتم أخذ ذلك في الاعتبار، فمثلا إذا كان هذا المعامل يساوي 1.15 فيتم زيادة قدرة المحول بنسبة 15 % .

الباب الرابع

خصائص المحول الداخلية

الفصل الأول

الأعطال في المحولات

الأعطال في المحولات Transformers Faults:

قبل أن نتحدث عن وقاية المحولات، لابد أن ندرس الأعطال التي تحدث في المحولات حتى يتم الوصول إلى الوقاية المناسبة لإزالة كل عطل ويمكن تقسيم الأعطال في المحولات إلى :

1– أعطال داخلية Internal Faults

2– أعطال خارجية External Faults

أولا : الأعطال الداخلية Internal Faults

الأعطال الداخلية هي الأعطال التي تحدث داخل المحول ومنها :

1- أعطال في الملفات Winding Faults سواء في لفات الملف الابتدائي أو في لفات الملف الثانوي وهي :

أ– أعطال ناتجة عن التلامس أو القصر Short بين لفات الوجه Phase الواحد (ابتدائي أو ثانوي) Interturn Faults or Turn – Turn Faults .

ب– أعطال ناتجة عن التلامس أو القصر بين وجه ووجه آخر Phase to Phase Faults .

ج– أعطال ناتجة عن التلامس أو القصر بين وجه والأرض Phase to Ground Faults .

د– أعطال ناتجة عن قطع في أحد الملفات Open Winding .

2- أعطال في أطراف التوصيل Terminal Faults سواء في جانب الملف الابتدائي أو في جانب الملف الثانوي وهي :

أ- أعطال ناتجة عن التلامس أو القصر بين أطراف التوصيل Short Circuit .

ب- أعطال ناتجة عن سوء تربيط الأطراف Loos Connection .

ج- أعطال ناتجة عن قطع أو فتح في أطراف التوصيل Open Leads .

3- أعطال في القلب الحديدي Core Faults وهي :

أعطال ناتجة عن انهيار العزل في القلب Core Insulation failure وحدوث قصر بين شرائح القلب Shorted Laminations وذلك يؤدي إلى مرور التيارات الدوامية العالية التي تسبب سخونة القلب الحديدي خاصة عند مسامير الربط، وتسبب أيضا سخونة الزيت وتحلله وتكون غازات يمكن اكتشافها عن طريق جهاز البوخهلز ريلاي.

4- أعطال في مغير الخطوة Tap Changer Faults

أ- أعطال ميكانيكية Mechanical Faults ناتجة عن تلف في ميكانيزم مغير الخطوة.

ب- أعطال كهربية Electrical Faults .

5- أعطال في خزان (تانك) المحول Tank Faults وهي :

أ- أعطال ناتجة عن تسرب الزيت من خلال شروخ أو كسور في جسم الخزان، وهذا يسبب مشاكل كثيرة منها نقص العزل للملفات (الزيت يستخدم للعزل) ومنها ارتفاع درجة الحرارة (الزيت يستخدم للتبريد)، ويمكن اكتشاف تسريب الزيت عن طريق جهاز البوخهلز ريلاي.

ب- أعطال ناتجة عن زيادة ضغط الزيت داخل خزان المحول، فعند زيادة ضغط الزيت فقد يؤدي ذلك إلى حدوث كسورأو انفجار في جسم الخزان.

ج- أعطال ناتجة عن دخول الرطوبة داخل خزان المحول.

ثانيا : الأعطال الخارجية External Faults

الأعطال الخارجية هي الأعطال التي تحدث خارج المحول ومنها :

1- أعطال ناتجة عن ظروف العمل غير الطبيعية Abnormal Operating condition :

أ- زيادة التحميل Overloading فزيادة التحميل تعني زيادة التيار وزيادة التيار تزيد من المفاقيد النحاسية Copper Losses مما يزيد من ارتفاع درجة الحرارة مما قد يتسبب في انهيار العزل.

ب- زيادة الجهد Overvoltage

1- زيادة الجهد إما تكون زيادة عابرة Transient Overvoltage تنشأ نتيجة حدوث أخطاء Faults أو فتح وقفل الدوائر الكهربية Switching أو نتيجة حدوث صواعق Lightning، وهذه الجهود ممكن أن تسبب قصر Short بين لفات الوجه الواحد (Interturn Faults) أو حدوث قصر بين وجه ووجه آخر أو وجه والأرض، ويمكن التخلص من هذا النوع من ارتفاع الجهد عن طريق الفتحة الشرارية Rod Gap ويطلق عليها أحيانا قرون الحماية.

2- زيادة جهد التشغيل عن الجهد المصمم Power Frequency Over voltage : فهذا الجهد له تأثير سيئ على العزل حيث يزيد من الإجهاد Stress على العزل، وكذلك يزيد من الفيض المغناطيسي (فالفيض المغناطيسي يساوي النسبة بين الجهد والتردد $\phi = V / F$) والزيادة في الفيض تسبب زيادة في المفاقيد الحديدية، وقد ينحرف الفيض من القلب إلى أي أجزاء حديدية في المحول وبالتالي فإن المسامير التي عادة معرضة لكمية قليلة من الفيض يمكن أن تعرض لكمية كبيرة من الفيض، وهذا يسبب زيادة سريعة في درجة الحرارة في المسامير مما يسبب تلف العزل، وإذا استمر الوضع فإن درجة الحرارة ممكن أن تسبب انهيار عزل الملفات.

ج- زيادة الفيض Overfluxing وهو يظهر نتيجة زيادة الجهد أو نقص التردد.

2- أعطال ناتجة عن الأخطاء الخارجية External faults :

أ- أعطال ناتجة عن زيادة التيار Overcurrent .

ب- أعطال ناتجة عن خطأ مع الأرضي.

الفصل الثاني

وقاية المحولات

بعد أن تحدثنا عن الأعطال التي تحدث في المحولات، سوف نتحدث عن الوقايات التي من خلالها يتم حماية المحولات من هذه الأعطال.

فيمكن تقسيم وقايات المحول إلى :

1- الوقاية الكهربية.

2- الوقاية الميكانيكية.

4- الوقاية الحرارية.

1- الوقاية الكهربية

تختلف أساليب الحماية الكهربية المستخدمة في المحولات تبعا لمستوى القدرة في كل محول، فالمحولات الصغيرة يستخدم فيها الفيوز أو المفاتيح فقط للحماية، أما في المحولات الكبيرة فنستخدم مجموعة من الوقايات الكهربية منها :

1- الوقاية التفاضلية.

2- الوقاية ضد زيادة التيار.

3- الوقاية ضد التيار الاندفاعي.

4- الوقاية ضد الخطأ الأرضي.

5- الوقاية ضد زيادة الفيض المغناطيسي.

أولا : الوقاية التفاضلية

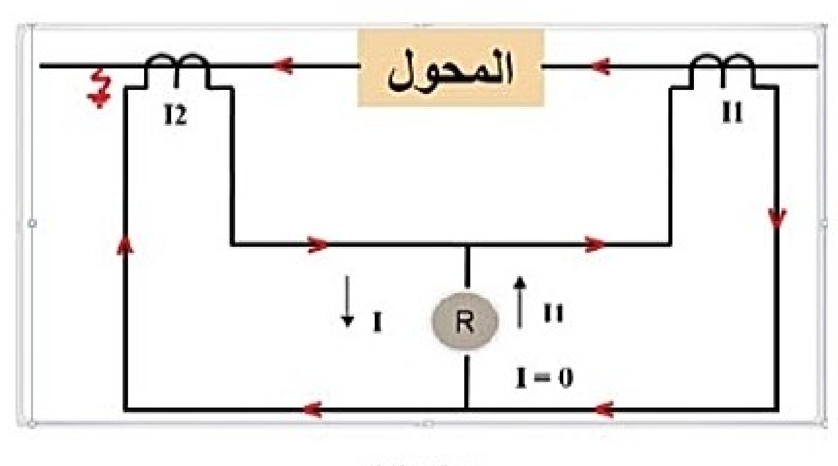
تعمل هذه الوقاية على أساس التفاضل، أي المقارنة بين التيار في الملف الابتدائي والملف الثانوي للمحول، وتقوم بحماية المحول من معظم الأخطاء التي تحدث داخل المحول وتمتد حمايتها إلى محولات التيار من جهة الملف الابتدائي ومحولات التيار من جهة الملف الثانوي.

في الحالة الطبيعية فإن التيار المار في الملف الابتدائي هو نفسه في الملف الثانوي (مع الأخذ في الاعتبار نسبة التحويل).

في حالة حدوث أي خلل في منطقة هذه الوقاية (حدوث قصر أرضي لأحد الأطراف أو حدوث قصر في ملفات المحول) فإن التوازن في التيار الداخل والخارج يختل ويمر تيار في الريلاي ويحدث فصل للمحول من ناحية الجهد العالي والمنخفض.

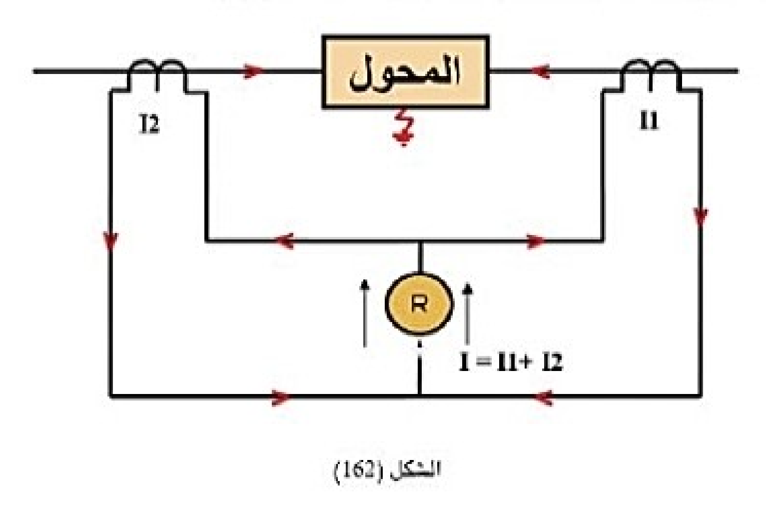
أي أنه إذا كان التيار الداخل إلى المنطقة المحمية يساوي التيار الخارج منها فإن هذا يعني عدم وجود عطل في المنطقة المحمية وجهاز الوقاية لا يعمل، وإذا وجد فرق بين التيار الداخل والخارج من المنطقة المحمية يدل على وجود عطل وجهاز الوقاية يعمل لفصل التيار بأسرع ما يمكن.

الوقاية التفاضلية في حالة حدوث عيب خارج ملفات المحول



الشكل (161)

الوقاية التفاضلية في حالة حدوث عيب داخل ملفات المحول



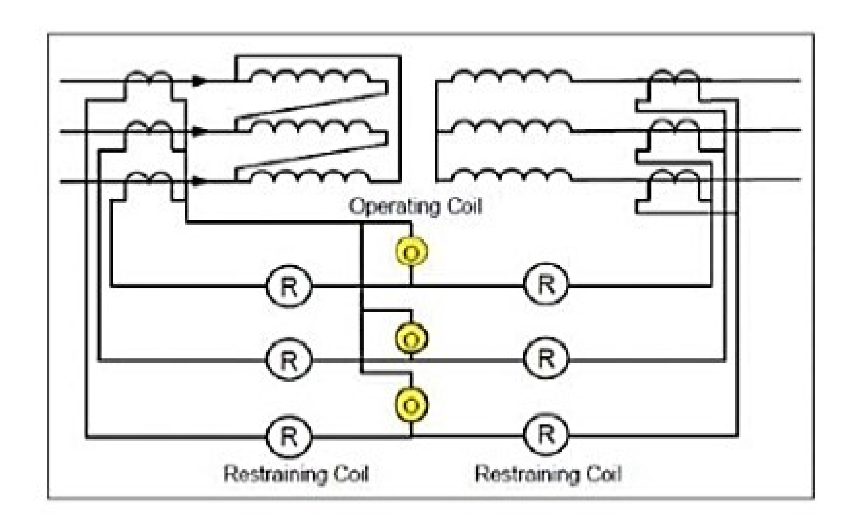
الشكل (162)

وعلى الرغم من أن فكرة عمل الوقاية التفاضلية سهلة وبسيطة إلا أن تنفيذها في الحياة العملية صعب ومعقد لعدة أسباب منها :

1- اختلاف محولات التيار من ناحية النوع أو نسبة التحويل فحتى لو كان محولي التيار من صنع شركة واحدة فمن الممكن أن يكون بينهما فروق تجعل التيار في الجانب الثانوي لكل منهما مختلف عن الآخر حتى لو التيار في الجانب الابتدائي متساوي تماما، وذلك لوجود عيوب في التصنيع أو حدوث تشبع Saturation لأحد المحولين نتيجة حدوث عطل خارجي ومرور تيار كبير جدا فيه، وهذا يؤدي إلى انخفاض قيمة التيار الذي يقرأه هذا المحول بدرجة كبيرة وسوف ينتج عن ذلك فرق كبير تيار الدخول وتيار الخروج.

2- وجود مغير الجهد Tap Changer الذي يغير نسبة التحويل في المحول المراد وقايته، وهذا يؤدي إلى تغير قيمة تيار الجانب الذي يوجد به مغير الجهد دون حدوث تغير في الجانب الآخر وينتج عن ذلك فرق كبير تيار الدخول وتيار الخروج.

3- اختلاف طريقة توصيل الاوجه في الملف الابتدائي عن الملف الثانوي (دلتا / نجمة أو نجمة / نجمة ....الخ)، حيث إن كل طريقة من هذه الطرق ينشأ عنها علاقة بين التيار الابتدائي والثانوي مختلفة في القيمة والاتجاه عن الطرق الأخرى، وهذا الاختلاف يمكن تجاوز تأثيره عن طريق توصيل محول التيار في الجانب الموصل نجمة على شكل دلتا وتوصيل محول التيار في الجانب الموصل دلتا على شكل نجمة والشكل التالي يوضح طريقة توصيل محولات التيار في محول دلتا – ستار.



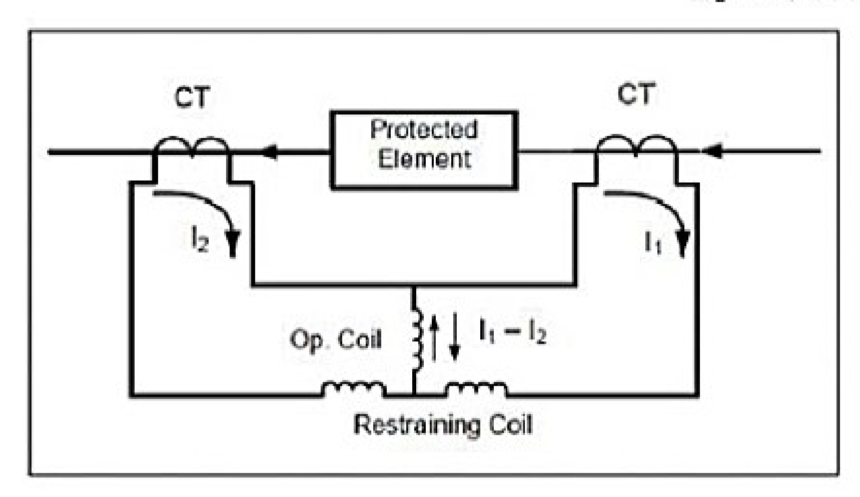
الشكل (163)

4- وجود مكثفات شاردة Stray Capacitance تكون بسبب الكابلات أو العوازل، وهذه المكثفات يتسرب من خلالها جزء من تيار الدخول إلى الأرض مما يترتب عليه اختلاف تيار الدخول عن تيار الخروج حتى لو كان محولي التيار متماثلين تماما.

5- تيار المغنطة الاندفاعي Inrush Current كما نعلم أن هذا التيار يحدث عند توصيل المحول على الجهد قبل تحميله، ويكون هذا التيار كبيرا جدا ويمر من جهد الملف الابتدائي فقط.

وبذلك يمر هذا التيار في المتابع التفاضلي كما لو كان تيار قصر مما يسبب التشغيل الخاطئ للجهاز، وحيث إن هذا التيار يحتوي على نسبة كبيرة من التوافقيات الزوجية فيتم تركيب فلتر خاص بالتوافقيات الزوجية لتمنع جهاز الوقاية من الاشتغال أثناء ظهور تيار المغنطة الاندفاعي.

ولعلاج هذه المشاكل فقد أجريت بعض التعديلات على جهاز الوقاية التفاضلية ليصبح كالتالي :



الشكل (164)

وهو ببساطة إضافة ملفين مقاومين Restraining Coils في جهاز الوقاية بحيث يمر تيار كل محول في ملف، فيمر تيار المحول الأول (I_1) في الملف المقاوم الأول ويمر تيار المحول الثاني (I_2) في الملف المقاوم الثاني، وفي نفس الوقت يمر الفرق بين تياري المحولين Differential Current ويساوي ($I_1 - I_2$) ويسمى أيضا تيار التشغيل Operating Current ويمر في ملف التشغيل Operating coil، فإذا كان التيار الذي يمر في ملف التشغيل أكبر من التيار المحصل الذي يمر في الملف المقاوم وهو يساوي$(I_1 - I_2)/2$،فسوف يعمل الجهاز ويقوم بفصل الدائرة.

فمثلا إذا كان تيار الدخول إلى المحول يساوي ($I_{IN} = 5A$) وتيار الخروج يساوي($I_{OUT} = 4.5A$) فإن تيار التشغيل يساوي

$$I_{OP} = 5 - 4.5 = 0.5 A$$

والتيار المحصل الذي يمر في الملف المقاوم يساوي

$$I_{Res} = 5 + 4.5 / 2 = 4.7 A$$

فنجد أنه على الرغم من وجود فرق في التيار يصل إلى 0.5 أمبير بين تياري الدخول والخروج فإن الجهاز لا يعمل لأن التيار الذي يمر في ملف التشغيل أقل من التيار المحصل الذي يمر في الملف المقاوم.

أما إذا كان تيار الدخول يساوي($I_{IN} = 20A$) وتيار الخروج يساوي($I_{OUT} = 1A$) فإن تيار التشغيل يساوي

$$I_{OP} = (20 - 1 = 19 A$$

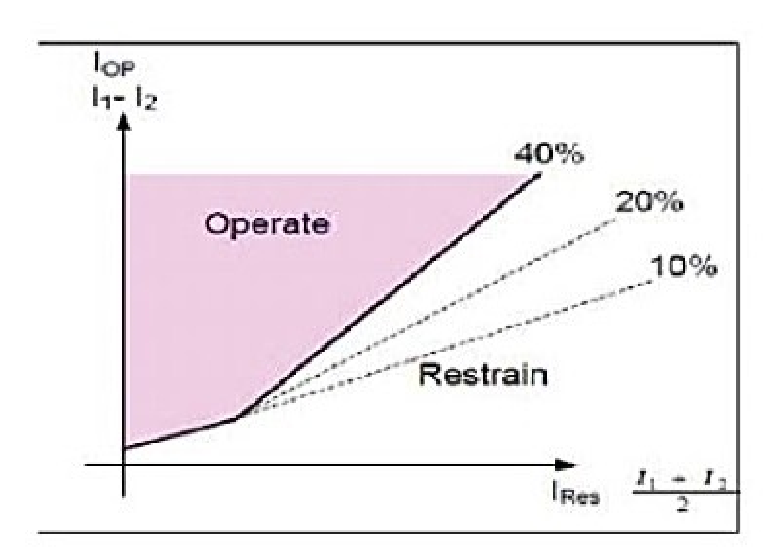
والتيار المحصل الذي يمر في الملف المقاوم يساوي

$$I_{Res} = 20 + 1 / 2 = 10.5 A$$

فإن الجهاز في هذه الحالة يعمل لأن التيار الذي يمر في ملف التشغيل أكبر من التيار المحصل الذي يمر في الملف المقاوم، ويسمى الجهاز في هذه الحالة Biased Differential Relayes أو Percentage Differential Relays.

ضبط ميل منطقة التشغيل

لكي يعمل الجهاز بصورة مرضية لابد أن يزيد تيار التشغيل I_{OP} عن نسبة مئوية ثابتة من تيار المقاومة I_{Res} والشكل (174) يوضح العلاقة بين تيار التشغيل وتيار ملف المقاومة ويوضح الميول المختلفة المحددة لمنطقة التشغيل.



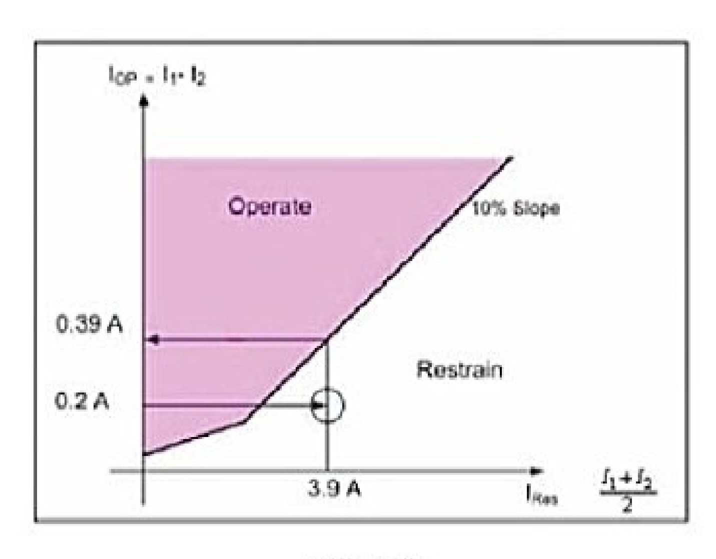
الشكل (165)

وهذا الميل Slope قد يكون 10% أو 20% أو 40% ، وهذا يعني أن تيار التشغيل يلزم أن يكون10% أو 20% أو 40% من تيار المقاومة حتى يبدأ الجهاز في العمل.

ومن الشكل السابق نلاحظ أنه كلما انخفض قيمة الميل كان الجهاز أكثر حساسية للتشغيل أي أن كلما انخفضت قيمة الميل كانت نسبة الأخطاء المتوقعة صغيرة وهي التي تؤخذ في الاعتبار عند عدم تماثل محولات التيار مثلا.

فعلى سبيل المثال لو فرضنا أن جهاز وقاية تفاضلي له ميل يساوي 10%، وكان التيار الداخل يساوي 4 أمبير والتيار الخارج يساوي 3.8 أمبير، نجد أن تيار التشغيل ($I_{OP} = (4 - 3.8 = 0.2\ A)$) والتيار المحصل الذي يمر في الملف المقاوم يساوي ($I_{Res} = 4 + 3.8 / 2 = 3.9\ A$).

وبتوقيع هذه النقطة (0.2 & 3.9) على الرسم، نجد أنها تقع في منطقة الـ Restrain أسفل الخط المائل وهذا يعني أن الجهاز لا يشعر بالعطل، كما بالشكل (175).



الشكل (166)

فنلاحظ أن Biased Differential Relayes تتميز بوجود أكثر من ميل Slope يساعد في الأخذ في الاعتبار حجم الفروق الطبيعية المتوقعة بين تياري الابتدائي والثانوي.

فإذا فرضنا أن جهازا مركبا على محول ومطلوب اختيار الميل Slope المناسب لهذا الجهاز، فإذا فرضنا حدوث تغيير لمغير الجهد Tap Changer للمحول وصل للقيمة القصوى وهي% 5 وهذا يعني أن تيار أحد الجانبين تغير بنسبة % 5 ، وإذا أخذنا في الاعتبار أن هناك عيوبا في تصنيع المحولات تسبب عدم تماثل بينهما قد يصل إلى% 10فيصبح الخطأ الكلي الآن %15 وإذا أضفنا مساحة أمان في حدود%5 وبالتالي تصبح نسبة الخطأ بين التيارين الداخلين لجهاز الوقاية في حدود %20 وعلى هذا فأنسب ميل هو %20.

ثانيا : الوقاية ضد زيادة التيار

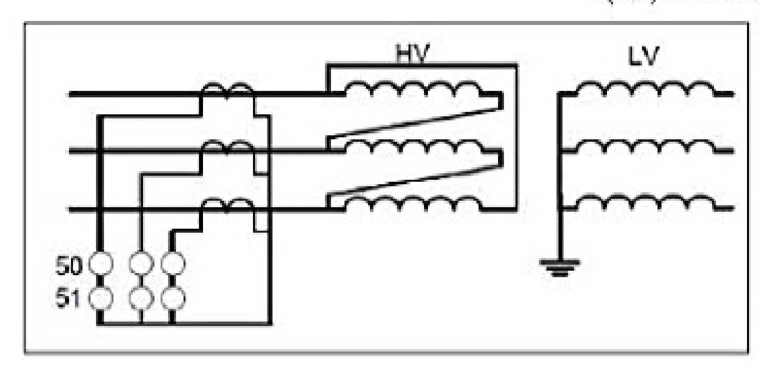
هناك أعطال لا تكتشفها الوقاية التفاضلية مثل الأعطال الخارجية (حالات القصر الخارجي) وكذلك الوقاية ضد زيادة الحمل التي تسبب سخونة في المحولات، لذلك يتم تستخدم الوقاية ضد زيادة التيار لوقاية المحول من هذا الأعطال.

ويمكن تصنيف أجهزة الوقاية ضد زيادة التيار من حيث سرعة العمل إلى :

1- التشغيل اللحظي Instantaneous ورقمة (51).

2- التشغيل بتأخير زمني Time delayed ورقمة (50).

انظر الشكل (163).

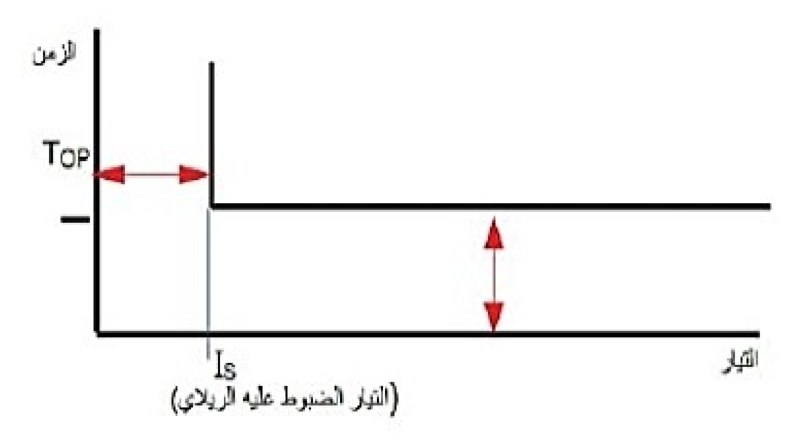


الشكل (167)

خصائص أجهزة الوقاية ضد زيادة التيار

1- الخاصية المحدودة Definite characteristics

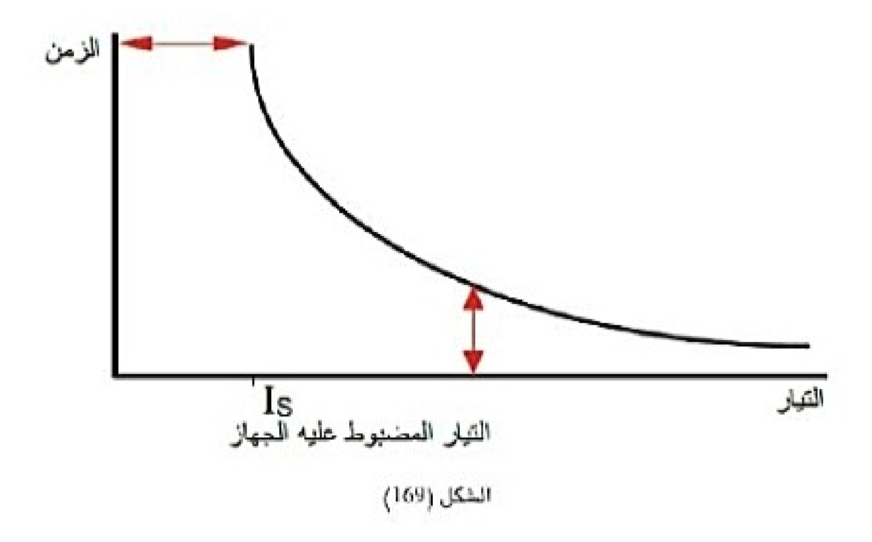
في هذه الخاصية تكون قيمة الزمن ثابتة وهي القيمة المضبوطة على الجهاز مهما تغيرت قيمة التيار المارة بالمتمم.



الشكل (168)

2- **الخاصية العكسية** Inverse characteristics

في هذه الخاصية تكون العلاقة بين التيار والزمن عكسية، أي أنه يقل زمن الفصل كلما زادت قيمة التيار.



الشكل (169)

ثالثا : الوقاية ضد التيار الاندفاعي

وعند دراسة وتحليل موجة التيار الاندفاعي وجد أنها تحتوي على توافقيات من الدرجة الثانية بصورة كبيرة حيث يمكن أن تصل نسبتها من 40 - 50% من قيمة التيار، بينما قيمة هذه التوافقية في حالة الأعطال الحقيقية لا تتعدى 7%، ولذلك يتم وضع فلتر داخل أجهزة الحماية لهذا النوع من التوافقيات، فإذا كانت قيمة التوافقية الثانية تصل نسبتها من 10 - 20% من قيمة التيار فإن ذلك يعني أن التيار المرتفع هو تيار اندفاعي وليس تيار عطل ولا يتم تشغيل دوائر الحماية وبالتالي لا يتم فصل مفتاح المحول.

رابعا : الوقاية ضد الخطأ الأرضي لمنطقة محددة Restricted Earth Fault Protection

في حالة المحولات يفضل عدم استخدام أجهزة الوقاية ضد الخطأ الأرضي العادي Earth Fault وذلك لأن تيار العطل غالبا ما يكون منخفضا وخصوصا إذا تم تأريض المحول خلال مقاومة، وبالتالي فإن أجهزة الوقاية ضد الخطأ الأرضي العادي Earth Fault تكون غير حساسة، كما أنه أي عطل من الممكن أن يتسبب في تشغيل الجهاز حتى ولو كان العطل خارجيا. لذلك يتم استخدام أجهزة وقاية ضد الخطأ الأرضي لمنطقة محددة، وهو ما يسمى Restricted Earth Fault Protection وفي هذا النوع لا يعمل الجهاز إلا إذا وقع العطل داخل المنطقة المحمية المحددة بمحولات التيار.

ففي هذه الحالة تمر قيمتان للتيار داخل جهاز الحماية هما :

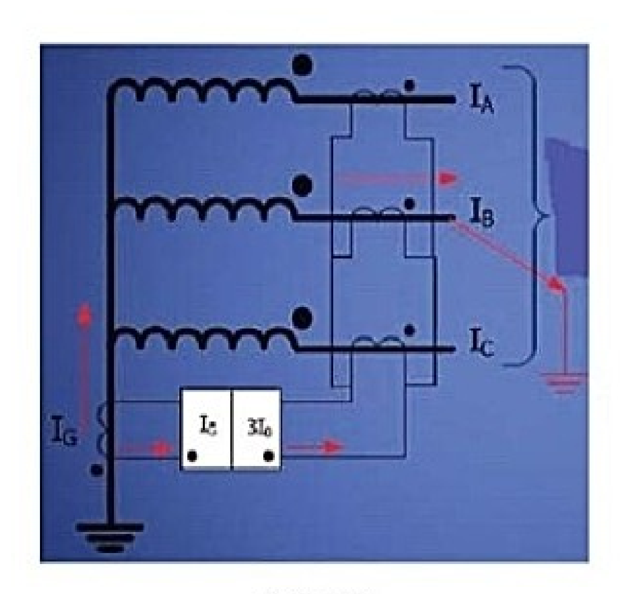
1- محصلة تيارات محولات التيار الموجودة على الثلاث فازات

$$3I_0 = IA + IB + IC.$$

2- التيار المار بمحول التيار في الطرف الأرضي I_G .

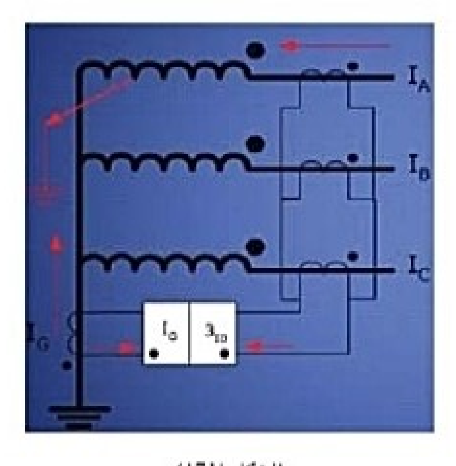
والجهاز لايعمل إلا إذا كان هذان التياران لهما اتجاه معاكس.

فإذا وقع العطل خارج المنطقة المحمية المحددة بمحولات التيار فإننا نلاحظ أن التيارين I_G & $3I_0$ يكون لهما نفس الاتجاه وبالتالي لا يعمل جهاز الحماية كما في الشكل (179) .



الشكل (170)

أما إذا وقع العطل داخل المنطقة المحمية المحددة بمحولات التيارفإننا نلاحظ أن التيارين I_G & $3I_0$ لهما اتجاه معاكس وبالتالي يعمل جهاز الحماية كما في الشكل (180).



الشكل (171)

خامسا : الوقاية ضد الفيض العالي Over Flux Protection

في بعض الأحيان قد يتعرض المحول إلى كميات كبيرة من الفيض المغناطيسي قد تصل إلى حد التشبع، وفي هذه الحالة يزداد مرور التيارات الدوامية Eddy Currents في كل الأجزاء الحديدية في المحول، لذلك كما ذكرنا فإنه يتم تصنيع القلب الحديدي من شرائح لكي يتم تقليل كمية التيارات الدوامية، ولكن هناك أجزاء لا يمكن أن تكون من شرائح مثل القوائم الحاملة للمحول ومسامير الربط وزيادة التيارات الدوامية في هذه الأماكن تزيد من ارتفاع درجة الحرارة مما يؤدي إلى حدوث أضرار بالغة بالمحول.

ولكي يتم اكتشاف أن الفيض قد زاد عن القيم المسموح بها فيمكن الاستعانة بالعلاقة التالية :

$$\phi \propto \frac{V}{F}$$

وهي علاقة معروفة توضح أن الفيض المغناطيسي يتناسب طرديا مع الجهد ويتناسب عكسيا مع تردد المصدر وتسمى Volts – per – Herts وبالتالي يمكن قياس مقدار الفيض المغناطيسي عن طريق قياس النسبة بين الجهد والتردد، فإذا زاد الجهد بصورة كبيرة وانخفض التردد فإن ذلك يعني زيادة الفيض بشكل كبير ولذلك يتم فصل المحول.

2 - الوقاية الميكانيكية

يتم عمل حماية ميكانيكية للمحول عن طريق :

1- الوقاية ضد دخول الرطوبة (Breathing Devise) .

2- جهاز الوقاية الغازية (Buchholz relay) .

3- جهاز تنفيس الضغط (pressure relief valve) .

أولا : الوقاية ضد دخول الرطوبة

حيث إن حجم الزيت يتغير بالزيادة والنقصان تبعا لدرجة الحرارة، فلابد أن يصاحب ذلك عملية تنفس للمحول بمعنى أن يطرد المحول هواء عند ارتفاع درجة الحرارة نتيجة تمدد الزيت، ثم يمتص الهواء عند انخفاض درجة الحرارة.

ولكن من الممكن دخول الرطوبة داخل المحول عند عملية التنفس.

مخاطر دخول الرطوبة للمحول

1- في درجات الحرارة العالية يحدث تفاعل للأكسجين مع الزيت وتحدث أكسدة للزيت ويتحول إلى محلول حامضي ومع مرور الوقت قد يؤدي إلى تكون رواسب تسد مسارات التبريد للملفات.

2- عند حدوث أكسدة للزيت، فإن بعض الأكاسيد تتفاعل مع ورق العزل في درجات الحرارة العالية وتؤدي إلى تآكله.

3- الرطوبة تعمل أيضا على صدأ الحديد والنحاس وذلك يعمل على تغير خواص الزيت ويتحول من عازل إلى موصل.

كيف يتم التخلص من الرطوبة

لكي نضمن دخول الهواء جافا إلى المحول فإن الهواء يمر من خلال وعاء به ملح ماص للرطوبة يسمى السليكاجل (سليكات الألومنيوم).

ويوجد نوعان من مادة السليكاجل :

1- نوع أبيض ناصع على هيئة حبيبات تتحول إلى بني أو برتقالي عندما تمتص الرطوبة.

2- نوع أزرق داكن على هيئة حبيبات تتحول إلى بني أو برتقالي عندما تمتص الرطوبة.

يمكن تجفيف السليكاجل عند درجة حرارة 140 درجة مئوية وإعادة استخدامها.

ويتم وضع قليل من الزيت أسفل وعاء السليكاجل، مع ملاحظة أنه لا يختلط مع السليكاجل حتى لا تتلف للأسباب الآتية :-

1- لكي تذوب الأتربة في الزيت ويدخل الهواء نظيفا.

2- لكي تنخفض سرعة الهواء عند مروره في الزيت.

3- لكي تتغير درجة حرارة الهواء وتصبح مثل درجة حرارة الزيت.



الشكل (172)

ثانيا : الوقاية الغازية

يحدث ارتفاع لدرجة الحرارة داخل المحول والتي قد تصل إلى 350 درجة مئوية للأسباب التالية :

1- حدوث قصر داخل تانك المحول (قصر داخلي بين وجهين أو بين نقطتين في نفس الوجه).

2- أعطال القلب الحديدي للمحول (انهيارعزل الشرائح الحديدية للقلب

الحديدي للمحول).

3- التوصيلات الكهربائية غيرالجيدة لأطراف التوصيل للملفات.

4- في حالة زيادة التحميل.

هذا الارتفاع العالي في درجة الحرارة يتسبب في تحلل زيت المحول إلى غازات والتي تصعد أعلى المحول فوق الزيت، وبالتالي يتضح أنه يمكن الاستفادة من ظهور هذه الغازات في بناء وقاية غازية للمحول عن طريق جهاز البوخهلز ريلاي، في الشكل (173).



الشكل (173)

ملخص عمل البوخهلز ريلاي

مما سبق يتضح أن البوخهلز ريلاي يقوم بالآتي :

1- إنذار نتيجة نقص كمية قليلة من الزيت.

2- فصل نتيجة نقص كمية كبيرة من الزيت نتيجة لتسرب الزيت.

3- إنذار ضد تجمع الغازات ببطئ.

4- فصل نتيجة اندفاع الغازات بعنف (في حالة القصر الكهربي).

ويمكن معرفة نوع العطل الحادث داخل المحول عن طريق اختبار الغازات المتجمعة بجهاز البوخهلز بالموقع عن طريق تجهيز لهب عود ثقاب أو ولاعة أمام فوهة محبس الجهاز وعلى بعد حوالي 3 سم من الفوهة ثم يفتح المحبس ببطء وحذر، وقد يحدث أحد الأمور التالية:

1- خروج الزيت مباشرة من فوهة المحبس دون أي غازات وهذا يدل على سلامة المحول.

2- خروج الزيت مخنوقا أو به فقاقيع لا تشتعل فهي هواء عادي ولا يوجد أي خطورة.

4- خروج الغازات وزيادة اشتعال اللهب.

وهذا يدل على :

1- لو كان لون اللهب أسود فهو يدل على اشتعال غاز الإستيلين الناتج من تحلل الزيت.

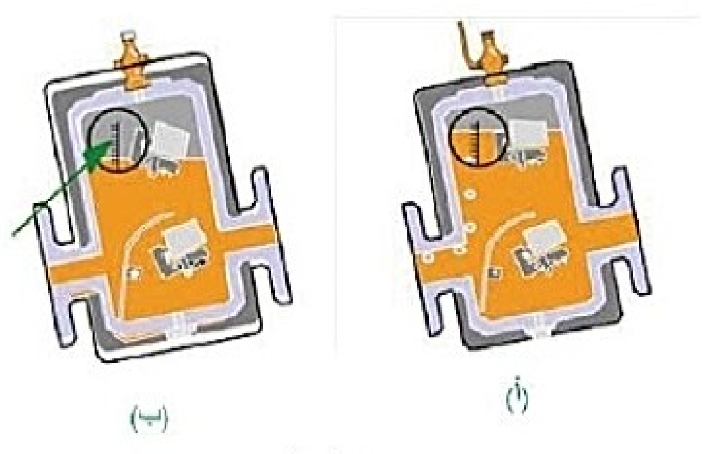
3- لو كان لون اللهب أصفر فهو اشتعال غاز الإستيلين وأول أكسيد الكربون الناتجين من تحلل الزيت وعزل الملفات على الترتيب.

في الوضع الطبيعي يكون جهاز البوخهلز ريلاي مملوءا بالزيت، كما بالشكل (174).



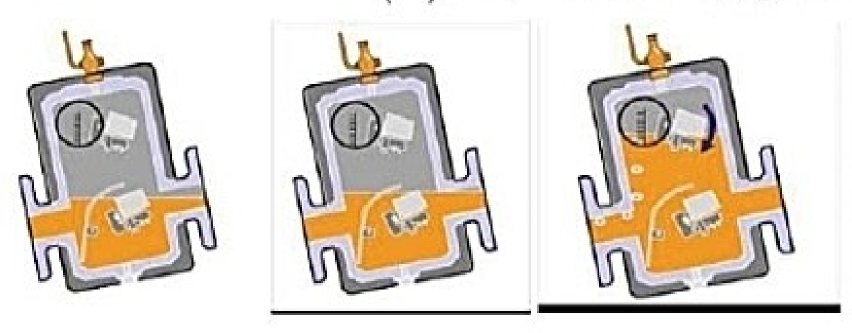
الشكل (174)

وعند تكون الغازات يتم الضغط على العوامة العليا، الشكل (175).



الشكل (175)

وعند زيادة الغازات يزيد الضغط على العوامة العليا ويتم هبوط العوامة العليا وتغير الملامسات، كما بالشكل (176).



الشكل (176)

وعند استمرار تسرب الزيت أو حدوث قصر داخل المحول وحدوث اضطراب في الزيت يتم سقوط العوامة السفلي، كما بالشكل (176).



الشكل (177)

ثالثا : جهاز الحماية عند ارتفاع الضغط Pressure Relief Valve

يحدث ارتفاع ضغط الزيت في المحول لأحد الأسباب الآتية :

1- حدوث قصر داخلي في الملفات فتزداد درجة الحرارة وبالتالي يتمدد الزيت ويسبب ذلك زيادة الضغط داخل المحول.

2- زيادة تحميل المحول فتزداد درجة الحرارة وبالتالي يتمدد الزيت ويسبب ذلك زيادة الضغط داخل المحول.

3- زيادة مستوى الزيت فمثلا يتم ملء المحول بالزيت في الشتاء حيث تكون درجة حرارة منخفضة وعند زيادة درجة الحرارة في الصيف يزيد منسوب الزيت.

هذا الارتفاع في ضغط الزيت قد يؤدي إلى حدوث انفجار في المحول لذلك يوضع بلف تخفيف الضغط للوقاية من ارتفاع ضغط الزيت كالتالي :

1- يتم ضبطه عند قيمة معينة، حتى إذا وصلت إليها يعمل على خروج الزيت إلى خارج المحول فينخفض الضغط داخل المحول.

2- وهناك أنواع بها ملامسات تصدر إشارات فصل لجميع قواطع المحول لفصله وعزله عن الشبكة.

3 : الوقاية الحرارية

تعتبر الملفات والقلب الحديدي معا كمولد حراري Heat generator تزيد طاقته الناتجة أو تنقص تبعا لزيادة الأحمال أو نقصها، وإذا زاد معدل تولد الحرارة عن معدل تسربها فإن درجة حرارة الملفات والزيت وجميع المواد العازلة سوف تظل في ارتفاع مستمر، الأمر الذي يؤدي إلى الآتي :

1- احتراق المواد العازلة أو تحمصها وخصوصا الورق العازل للموصلات.

2- تحلل الزيت إلى غازات قابلة للاشتعال.

3- تخمر الوصلات النحاسية.

4- تخمر وتشبع في القلب الحديدي.

4- نقص مقاومة العزل Insulation resistance للملفات والزيت، حيث إن مقاومة العزل تتناقص أسيا مع ارتفاع درجة الحرارة (فكما نعلم أن كل زيادة في درجة الحرارة بمقدار 10 درجات فإن قيمة مقاومة العزل تقل إلى النصف) وهذا النقص في مقاومة العزل يزيد من تيار التسرب Leakage current الذي يمر من الأجزاء النحاسية إلى التانك المؤرض مرورا بالمواد العازلة، وزيادة تيار التسرب تزيد من معدل ارتفاع درجة الحرارة للمواد العازلة.

ويتم عمل وقاية حرارية للمحول عن طريق :

1- درجة حرارة الزيت :

في هذا النوع من عداد درجة حرارة الزيت يكون به نقاط مساعدة تقوم بعمل الآتي :

1- تحريك مفتاح زئبقي يعطي إنذارا عندما تصل درجة حرارة الزيت إلى 85 درجة مئوية.

2- تحريك مفتاح زئبقي يفصل المحول عندما تصل درجة حرارة الزيت إلى 95 درجة مئوية.

2- درجة حرارة الملفات :

حيث إن تختلف طبيعة الزيت عن النحاس للتأثر بالحرارة، حيث يتأثر النحاس بالحرارة أسرع من الزيت، فلذلك لا يستدل بحرارة الزيت على الحالة الحرارية للملفات ولذلك يتم تركيب جهاز خاص لقياس درجة حرارة الملفات (فيتم تركيب محول تيار على أحد الأوجه، يستخدم تياره في تسخين ملف معين يستخدم في بيان درجة حرارة الملفات)

ويتم عمل الجهاز كالآتي :

- يعطي إنذارا عندما تصل درجة حرارة الملفات إلى 90 درجة مئوية.
- يعطي فصلاً عندما تصل درجة حرارة الملفات إلى 95 درجة مئوية.

الفصل الثالث

المفاقيد في المحول

المفاقيد في المحول

1- المفاقيد الحديدية Iron Losses وهي من مفاقيد اللاحمل No Load Losses .

2- المفاقيد النحاسية Copper Losses وهي من مفاقيد الحمل Load Losses .

3- المفقودات في العزل Dielectric Losses وهي من مفاقيد اللاحمل No Load Losses.

أولا : المفاقيد الحديدية

من أهم المفاقيد الحديدية :

1- التيارات الدوامية Eddy Currents .

2- التخلفية المغناطيسية Hysteresis Losses.

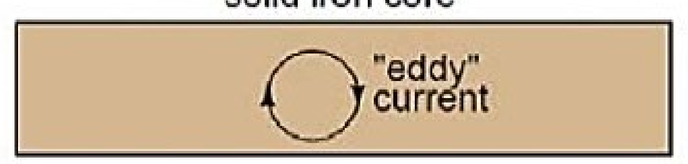
أولا - التيارات الدوامية Eddy Current (في القلب الحديدي وفي الموصلات النحاسية وفي الخزان)

1- التيارات الدوامية في القلب الحديدي.

الفيض المتردد حين يقطع موصل كهربي فإنه يولد فيه تيار كهربي، وهذا الكلام كما ينطبق على الأسلاك النحاسية في الملف الابتدائي والملف الثانوي فإنه ينطبق أيضا على القلب الحديدي. فحيث إن لفات الملف الابتدائي ولفات الملف الثانوي تقطع خطوط الفيض المغناطيسي فيتولد بها جهد وتيار بالحث فإن الحديد في القلب الحديدي يقطع أيضا خطوط الفيض المغناطيسي ويتولد به تيار بالحث يسمى بالتيار الدوامي Eddy Current، وهذا التيار يسبب فقدا في الطاقة على صورة حرارة تتولد في القلب لأنه يمثل جزءا من الفيض في الملف

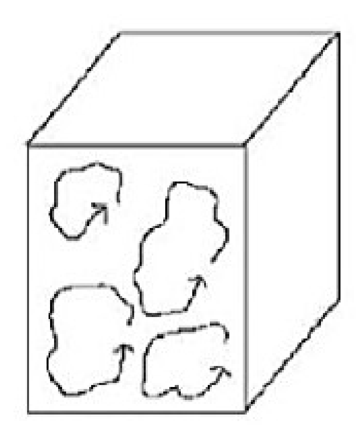
الابتدائي لا ينتقل إلى الملف الثانوي ويمر في القلب، وتسير هذه التيارات في مسارات دائرية كالدوامة، كما بالشكل (187).

تكون هذه التيارات كبيرة كلما كان سمك القلب الحديدي كبير لأن المقاومة في هذه الحالة تكون كبيرة.





الشكل (178)



الشكل (179) التيارات الدوامية عندما يكون القلب كتلة واحدة

أضرار التيارات الدوامية:

1- تسبب فقد جزء من الطاقة الكهربية بتحويلها إلى حرارة.

2- هذه الحرارة قد تؤدي إلى تلف العزل وحدوث مشاكل داخل المحول.

$$\text{Eddy Losses,} \qquad W_e = K_e \times B_m^2 \times f^2 \times t^2 \quad \text{Watts/Kg.}$$

Where K_e = the eddy current constant

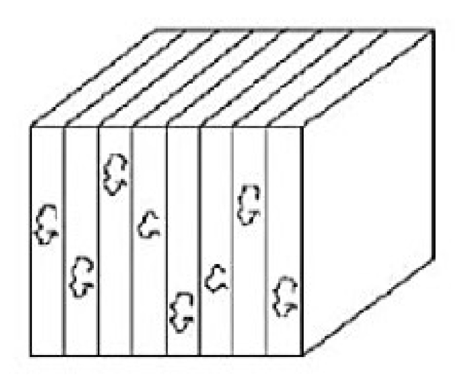
f = Frequency in Hertz.

B_m = Maximum flux density in tesla

t = Thickness of lamination strips

التغلب على التيارات الدوامية:

للتقليل من التيارات الدوامية يصنع القلب الحديدي على شكل صفائح من الحديد المطاوع معزولة عن بعضها عزلا تاما، وبذلك تزداد مقاومة القلب الحديدي، فتقل شدة التيارات الدوامية ويقل مقدار الفقد في الطاقة.



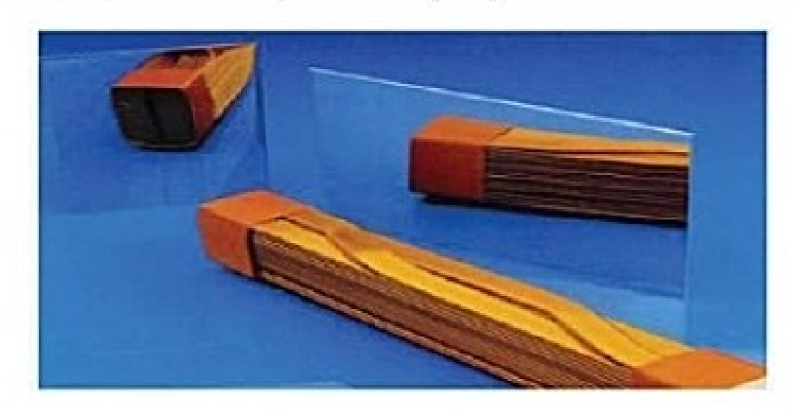
الشكل (180) التيارات الدوامية عندما يتم تقسيم القلب إلى شرائح

3- التيارات الدوامية في الخزان أو أي أجزاء معدنية

وهناك جزء من التيارات الدوامية ينشأ نتيجة الفيض المتسرب Leakage Flux، فالفيض الذي ينشأ عند مرور التيار في الملف الابتدائي لا يرتبط كليا بالملف الثانوي بل يكون هناك جزء مفقود يسمى بالفيض المتسرب، وهذا الفيض المتسرب قد يقطع الأجزاء الحديدية الخارجية للمحول فينشأ فيها تيارات دوامية eddy current ويتسبب في سخونة هذه الأجزاء المعدنية غير الحاملة للتيار أصلا، وهذا النوع يظهر تأثيره فقط في المحولات الكبيرة.

2- التيارات الدوامية في الموصلات

وقد يتسبب هذا الفيض المتسرب في وجود تيارات دوامية داخل الموصلات النحاسية ويكون تأثيره ضعيفا، ففي المحولات الكبيرة يتم عمل تبادل بين الطبقات المكونة لمقطع الموصل الذي يكون غالبا كبيرا وهو ما يعرف بعملية الـ Transposition، كما بالشكل (190). والغرض من هذه العملية هو منع التيارات الدوامية التي يمكن أن تنشأ داخل المقطع الكبير للموصل نفسه نتيجة لعدم تساوي أطوال الموصلات المستخدمة في اللف فتتعرض أجزاؤه لمستويات مختلفة من الفيض المغناطيسي الذي يسبب فرق في الجهد بين طبقات الموصل.



الشكل (181)

ثانيا - التخلفية المغناطيسية

يتم صناعة القلب في المحول من الحديد الصلب السليكوني وذلك لزيادة تركيز خطوط الفيض، فالحديد الصلب له كفاءة عالية لتمرير الطاقة المغناطيسية وذلك لارتفاع النفاذية النسبية Permeability وهو من المواد الفرو–مغناطيسية Ferromagnetic Material .

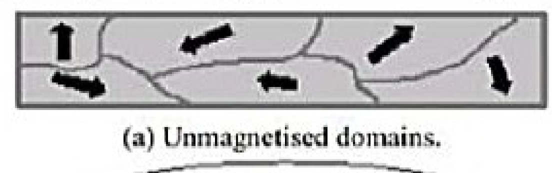
فإذا مر تيار كهربي متردد قيمته I في ملف عدد لفاته N فستنشأ دائرة مغناطيسية والتي تعتبر مكافئة للدائرة الكهربية وهي عبارة عن مسار مغلق يجري فيه الفيض المغناطيسي ويحتوي على مصدر قوة دافعة مغناطيسية وممانعة تعاكس حركة الفيض، وتتكون الدائرة عادة من قلب مغناطيسي بطول متوسطه L ومساحة مقطع عرضي A.

وعلى الرغم من أن الحديد الصلب من أفضل المواد لمرور الفيض المغناطيسي إلا أنها لها عيب وهو التخلفية المغناطيسية، فعندما تمر خطوط الفيض المغناطيسي خلال مساحة معينة لبعض المواد الفرومغناطيسية مثل القلب الحديدي للمحول، هذه المواد تحتوي على عدد كبير من المغناطيسيات الجزيئية التي لها قطبان شمالي وجنوبي وتكون مرتبة ترتيبا عشوائيا بحيث تلغي كل واحدة التأثير المغناطيسي للآخر، وينتج عن ذلك أن مادة الحديد ليس لها خاصية الجذب المغناطيسي في الحالة العادية، ولكن عند مرور خطوط الفيض في الحديد تبدأ هذه الجزيئات بالاصطفاف تدريجيا وينشأ عن ذلك اتجاه تمغنط واحد وتظهر خاصية التمغنط لمادة الحديد، فكثافة الفيض المغناطيسي تزداد بشكل كبير كلما وضعنا مواد حديدية في مسار خطوط الفيض بينما تبلغ أدنى قيمه لها عندما تكون المادة الموجودة في المسار عبارة عن الفراغ نفسه أو الهواء أو الخشب أو الألومنيوم أو النحاس مثلا.

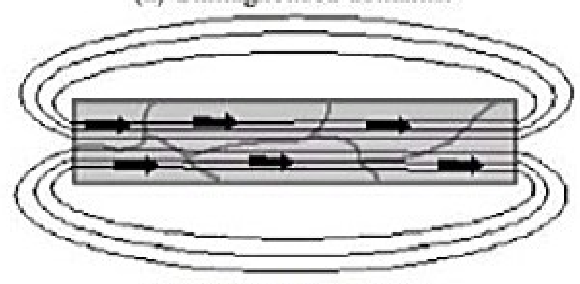
كيف تظهر التخلفية المغناطيسية

عند توصيل المحول بمصدر تيار متردد فإنه تتكون دائرة مغناطيسية لأن المحول يتكون من ملف مكون من عدد من اللفات ملفوف على القلب الحديدي

المصنوع من مادة مغناطيسية وهذا الملف يمر به تيار كهربي، وهذا التيار يعمل على مرور فيض مغناطيسي خلال مادة القلب الحديدي، ونتج عن هذا التيار مجال مغناطيسي له قوة أو شدة قدرها(H) Field Intensity يسمى قوة مغناطيسية Magnetizing Force وحيث إن مادة القلب مادة مغناطيسية فعند تسليط تيار متردد عليها فإنه ينتج حث مغناطيسي(B) Magnetic Induction نتيجة اصطفاف جزيئات هذه المادة تدريجيا خلال القلب الحديدي.



(a) Unmagnetised domains.



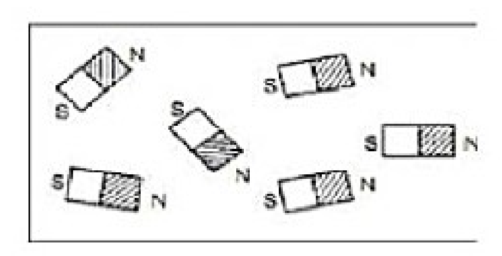
(b)Magnetised domains.

الشكل (182)

دراسة العلاقة بين الحث المغناطيسي للمادة (B) وشدة المجال المغناطيسي (H) المسلط عليها

موجة التيار المتردد هي موجة جيبية يزيد فيها التيار من الصفر إلى أقصى قيمة في الاتجاه الموجب، ثم يقل من أقصى قيمة إلى الصفر في الاتجاه الموجب أيضا، ثم يزيد التيار من الصفر إلى أقصى قيمة في الاتجاه السالب، ثم يقل من أقصى قيمة إلى الصفر في الاتجاه السالب أيضا ويتكرر ذلك 50 مرة في الثانية.

1- في البداية قبل تشغيل المحول تكون ($B = 0$) عندما ($H=0$) وتكون جزيئات المادة مرتبة ترتيبا عشوائيا.



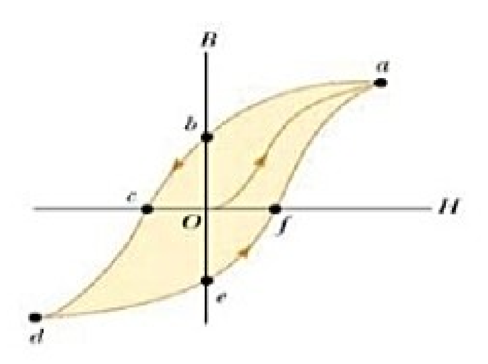
الشكل (183)

2- عند تشغيل المحول يتم تسليط مجال مغناطيسي خارجي على الحديد فتبدء جزيئات المادة بالاصطفاف تدريجيا وينشأ عن ذلك اتجاه تمغنط واحد وتظهر خاصية التمغنط لمادة الحديد وذلك في الربع الأول من الموجه (عندما يزيد التيار من الصفر إلى أقصى قيمة له في الاتجاه الموجب).



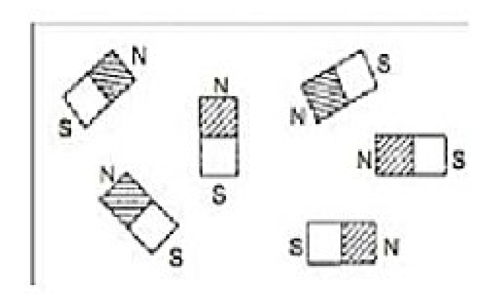
الشكل (184)

وعند رسم العلاقة بين الحث المغناطيسي للمادة (B) وشدة المجال المغناطيسي (H) فإن ذلك يتمثل عند النقطة a التي عندها تصطف كل جزيئات المادة حسب اتجاه المجال (H).



الشكل (185)

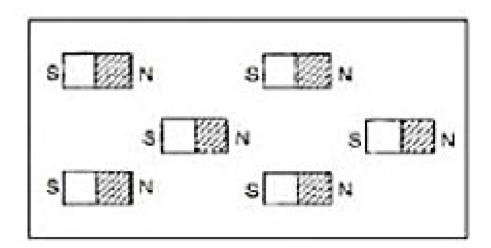
3- و عند تقليل المجال المسلط إلى الصفر وذلك في الربع الثاني من الموجه (عندما يقل التيار من أقصى قيمة إلى الصفر في الإتجاة الموجب) فإن المجال المتكون بالحديد لا يكون صفرا بل تكون له قيمة ويتمثل عند النقطة b الذي يكون عندها المجال الخارجي صفر و يكون H = 0 & B = Ob



الشكل (186)

4- وعند زيادة التيار من الصفر إلى أقصى قيمة له في الاتجاه السالب وذلك في الربع الثالث من الموجه (تسليط مجال مغناطيسي معاكس) فإنه يتم إزالة هذه المغنطة المتبقية أي نصل إلى النقطة (c) وعندها تنعدم المغنطة (B)

رغم وجود مجال مغناطيسي يسمى في هذه الحالة بالمجال القاهر الذي يزيل المغنطة بحيث يكون H - Oc & B = 0، أي أن جزء من المجال يستهلك في إزالة المغنطة المتبقية، ثم بعد ذلك يتم تكوين مجال مغناطيسي في الاتجاه المعاكس حيث تبدأ جزيئات المادة بالاصطفاف تدريجيا وينشأ عن ذلك اتجاه تمغنط واحد معاكس للاتجاه الأول حتى نصل للنقطة d.



الشكل (187)

5- وفي الربع الرابع من الموجة (عندما يقل التيار من أقصى قيمة إلى الصفر في الاتجاه السالب) فإن المجال المغناطيسي يقل في الاتجاه المعاكس ويتم الوصول إلى النقطة (e) الذي يكون عندها المجال الخارجي يساوي صفر في حين أن المجال المتكون بالحديد لا يكون صفرا بل تكون له قيمة معينة ويتمثل عند النقطة e كما هو موضح بالشكل السابق بحيث يكون H=0&B=Oe.

وفي بداية الموجه الجديدة يتكون مجال المغناطيسي مرة أخرى ويتم الحصول على النقطة (f) ثم إلى النقطة (a) مرة أخرى ويتم تكرار هذا المنحنى .

أي أن جزيئات المادة لا تعود إلى الترتيب العشوائي التي كانت علية في البداية بحيث تلغي كل واحدة التأثير المغناطيسي للأخر، ولكن تبقي بعض المغناطيسية في المادة تسمى الممغناطيسية المتبقية Residual magnetism

وتسمى هذه الظاهرة بالتخلف المغناطيسي وتسمى الدورة الكاملة المغلقة بدورة التخلف المغناطيسي ويعتمد حجمها على نوع المادة.

ويتضح من ذلك أن العلاقة بين الحث المغناطيسي للمادة (B) والمجال

المغناطيسي (H) هي علاقة غير خطية، لأنه من المفروض أنه عندما يزيد المجال المسلط فإن الحث في المادة يكون عند النقطة a وعندما يقل المجال إلى الصفر فإن المفروض أن الحث يقل أيضا إلى الصفر (النقطة O) ولكن نظرا لإن المادة فرومغناطيسية، فعلى الرغم من زوال المجال المغناطيسي فإن المادة يبقي بها بعض المغناطيسية، وهذا يعني ان بعض الجزيئات الذرية مازالت باقية على اتجاهها ويتولد ما نسميه بالمغنطة المتخلفة.

أضرار التخلفية المغناطيسية

التخلفية المغناطيسية هي انها تعني ضياع بالطاقة على شكل حرارة لأنه نتيجة لحركة الجزيئات من الحالة العشوائية إلى الإصطفاف في اتجاه تمغنط معين، فإن هذه الحركة تعمل على احتكاك الجزيئات مع بعضها البعض وهذا الاحتكاك يولد حرارة.

فكلما ازدادت سعة حلقة التخلفية فإن خسائر الطاقة تكون أكبر لأنه سيلزمنا طاقة أكبر للعودة بالمادة إلى حالة الاصطفاف العشوائي، وكلما زادت الطاقة المسلطة تتبدد حرارة أعلى ببلورات الحديد مما يعني خسائر أعلى.

Hysteresis Losses, $W_h = K_h \times f \times B_m^{1.6}$ Watts/Kg

Where K_h = the hysteresis constant

f = frequency in Hertz

B_m = maximum flux density in Tesla

ثانيا : المفاقيد النحاسية Copper Losses

وهي الخسائر الناتجة من ضياعات القدرة الحرارية في مقاومة ملفات الإبتدائي والثانوي للمحول، وهي تعتبر من مفاقيد الحمل Load Losses أي أنها لا تظهر كقيمة مؤثرة إلا إذا حدث تحميل للمحول، وكلما زاد التحميل زادت

الطاقة المفقودة، وحيث إن الملف الابتدائي والملف الثانوي مصنوع من مادة النحاس التي لها مقاومة مادية، فعند مرور تيار فيها يتسبب في فقد للقدرة يحسب من العلاقة التالية :

$$P = I^2 R$$

وحيث إن المقاومة في المواد الموصلة تزيد بزيادة درجة الحرارة، فإننا نلاحظ أن المفاقيد النحاسية تزيد بزيادة درجة الحرارة.

ثالثا - المفقودات في العزل Dielectric Losses

المواد العازلة التي تستخدم لعزل الموصلات عن بعضها البعض داخل المحول تتسبب في وجود نوع من المكثفات يعرف بالمكثفات الشاردة Stray Capacitors وهي مكثفات تخيلية لكنها تعمل نفس عمل المكثفات الحقيقية ويحدث فيها نوع من الفقد في الطاقة.

وهذه المكثفات تكون مكثفات غير مثالية أي يوجد بها مقاومة صغيرة، لأن المكثف المثالي يمثل بمحاثة سعوية Capacitance فقط دون مقاومة، وبالتالي فإن الزاوية بين الجهد والتيار تكون أقل من 90 درجة بمقدار زاوية صغيرة تسمى دلتا (delta δ) وتعتبر الزاوية tan δ هي زاوية الفقد وكلما كانت هذه الزاوية صغيرة فإن المكثف يكون أقرب للمثالية، وكلما كبرت هذه الزاوية تكون المفاقيد كبيرة.

وعلى الرغم من أن الطاقة المفقودة في هذا النوع من الفقد تكون صغيرة في الحالة العادية ولكن نتيجة لأن الزاوية tan δ تتأثر بشدة بدرجة الحرارة فكلما ارتفعت درجة الحرارة زادت الزاوية tan δ وكلما زادت هذه الزاوية زادت الطاقة المفقودة وبالتالي تزيد الحرارة أكثر، ونتيجة لزيادة درجة الحرارة تزيد الزاوية أكثر، وهكذا كلما زادت درجة الحرارة تزيد زاوية الفقد وتزيد الطاقة المفقودة على هيئة حرارة حتى يحدث انهيار حراري للعزل، وتتناسب هذه المفاقيد مع الجهد والتردد.

الباب الخامس

الصيانة والاختبارات

الفصل الاول

صيانة المحولات

نظرا لأن المحول ليس به أجزاء متحركة فإن صيانته تكون سهلة ولكن في بعض الحالات تتطلب إخراج القلب الحديدي من الخزان.

لذلك فهناك نوعان من الصيانة الدورية للمحولات :

1- النوع الأول لا يحتاج إلى إخراج القلب الحديدي من خزانه الرئيسي.

2- النوع الثاني يحتاج إلى إخراج القلب الحديدي من الخزان ويتم ذلك عند الحاجة أو كل 10 سنوات.

أولا : أعمال الصيانة التي لا تتطلب إخراج القلبة الحديدي

وفي هذا النوع من الصيانة يتم ملاحظة وفحص مكونات المحول الآتية :

1- الأجزاء الكهربية في المحول.

2- الأجزاء الخارجية من المحول والمكان الموجود فيه المحول.

3- الأجزاء الداخلية في المحول.

1- فحص وصيانة الأجزاء الكهربية

1- التأكد من أن الكابلات والتوصيلات غير مشدودة ومثبتة على حوامل Support ومربوطة بطريقة سليمة ولا تسبب أي إجهاد على العوازل، والتأكد من خلو الأطراف من آثار الانصهار (القوس الكهربي) أو القطع أو الحرارة العالية غير العادية.

2- تنظيف العوازل الصينى وبارات التوصيل جهتى الضغط العالى والضغط المنخفض وإزالة الأتربة والأوساخ المتراكمة والرطوبة.

3- التأكد من خلو العوازل الصيني من أضرار الكسر Break أو التشقق و التصدع Crack واستبدال غير الصالح منها.

4- التأكد من ربط العوازل الصينى على جسم التنك وسلامة الجوانات المرنة التى تمنع تسرب الزيت من الخزان الرئيسي.

5- التأكد من سلامة عمل مراوح التهوية والطلمبات في المحولات الكبيرة (كابلات التغذية - صندوق التوصيل Junction box - صوت رولمان البلي Bearing - صوت ريشة المروحة Blade - دائرة التحكم - كابلات التحكم).

6- التأكد من تثبيت منظم الجهد Tap changer في الوضع المراد تشغيل المحول عليه.

7- التأكد من توصيل نقطتى الإنذار ونقطتى الفصل فى روزتة جهاز البوخهلز بأجهزة الإنذار والفصل بالمفاتيح حيث تعمل صفارة الإنذار إذا تراكمت الغازات حول العوامة العليا بجهاز البوخهلز و يفصل جهاز الوقاية مفتاح تغذية المحول بالكهرباء فى حالة حدوث قصر فى الدائرة واندفاع الغازات من المحول إلى العوامة السفلية فى جهاز البوخهلز ويمكن عمل محاكاه Simulation لعمل الجهاز كالتالي :

أ - التأكد من أن دائرة التحكم للجهاز تعمل بصورة جيدة (جهد التحكم موجود وكابلات التحكم متصلة ناحية الجهاز وناحية سارينة الإنزار وناحية جهاز الحماية).

ب- يتم الضغط على عمود صغير أعلى الجهاز ضغطة خفيفة فتهبط العوامة العليا وتعمل سارينة الإنذار، وإذا تم الضغط على العمود ضغطة شديدة تهبط العوامة السفلية ويفصل المحول (إذا كان المحول يعمل) أو تظهر إشارة الفصل على جهاز الحماية Protection relay وظهور الراية الحمراء على جهاز الـ Flag relay إذا كان موجود في الدائرة.

ج- إذا كان عمود الاختبار غير موجود يتم فتح روزتة الجهاز وعمل كوبري Jumber على نقطتي الإنذار ونقطتي الفصل.

8- التأكد من توصيل نقطتى الإنذار ونقطتى الفصل فى روزتة عداد قياس

درجة الحرارة الزيت الذي يحتوي على نقاط مساعدة بأجهزة الإنذار والفصل بالمفاتيح حيث تعمل صفارة الإنذار إذا وصلت درجة الحرارة إلى Alarm set point و يفصل جهاز الوقاية مفتاح تغذية المحول عند وصول درجة الحرارة إلى Trip set point ويمكن عمل محاكاه Simulation لعمل الجهاز كالتالي :

أ – التأكد من أن دائرة التحكم للجهاز تعمل بصورة جيدة (جهد التحكم موجود وكابلات التحكم متصلة ناحية الجهاز وناحية سارينة الإنزار وناحية جهاز الحماية).

ب– تحريك المؤشر باليد حتى يصل إلى درجة حرارة الإنذار وبالتالي سوف تعمل سارينة الإنذار، الاستمرار في تحريك المؤشر حتى يصل إلى درجة حرارة الفصل وبالتالي سوف يفصل المحول أو تظهر علامة الفصل على جهاز الحماية.

ج– أو يتم فتح روزتة الجهاز وعمل كوبري Jumber على نقطتي الإنذار ونقطتي الفصل.

٩– التأكد من توصيل نقطتى الإنذار ونقطتى الفصل فى روزتة عداد قياس درجة الحرارة الملفات الذي يحتوي على نقاط مساعدة بأجهزة الإنذار والفصل بالمفاتيح حيث تعمل صفارة الإنذار إذا وصلت درجة الحرارة إلى Alarm set point و يفصل جهاز الوقاية مفتاح تغذية المحول عند وصول درجة الحرارة إلى Trip set point ويمكن عمل محاكاه Simulation لعمل الجهاز كالتالي :

أ – التأكد من أن دائرة التحكم للجهاز تعمل بصورة جيدة (جهد التحكم موجود وكابلات التحكم متصلة ناحية الجهاز وناحية سارينة الإنزار وناحية جهاز الحماية).

ب– تحريك المؤشر باليد حتى يصل إلى درجة حرارة الإنذار وبالتالي سوف تعمل سارينة الإنذار، الاستمرار في تحريك المؤشر حتى يصل إلى درجة حرارة الفصل وبالتالي سوف يفصل المحول أو تظهر علامة الفصل على جهاز الحماية

ج- أو يتم فتح روزتة الجهاز وعمل كوبري Jumber على نقطتي الإنذار ونقطتي الفصل.

10- التأكد من توصيل نقطتى الفصل فى روزتة عداد تصريف الضغط الذي يحتوي على نقاط مساعدة بحيث يفصل جهاز الوقاية مفتاح تغذية المحول عند زيادة الضغط داخل المحول ويمكن عمل محاكاه Simulation لعمل الجهاز كالتالي :

أ - التأكد من أن دائرة التحكم للجهاز تعمل بصورة جيدة (جهد التحكم موجود وكابلات التحكم متصلة ناحية الجهاز وناحية سارينة الإنزار وناحية جهاز الحماية).

ب- يتم فتح روزتة الجهاز وعمل كوبري Jumber على نقطتي الفصل.

11- التأكد من استمرارية الأرضى، بحيث يكون المحول مؤرض بطريقة آمنة وفعالة من خلال مقاومة صغيرة، ويتم الكشف على كابل الأرضي وموضع رباطه على المحول وعلى بورة الأرضي.

2- فحص الأجزاء الخارجية للمحول والمكان الموجود فيه المحول

1- التأكد من أن صوت المحول في الحدود الطبيعية، وفي حالة وجود أصوات غير طبيعية يتم البحث عن السبب ومعالجتة.

2- يتم فحص الخزان الرئيسي للمحول والتأكد من ربط المسامير وسلامة سطح الخزان من الانبعاج تحت تأثير القوى الخارجية وكذا سطح وأنابيب الإشعاع والتأكد من عدم تواجد شقوق أو ثقوب حتى وإن كانت ضئيلة وبسيطة يحتمل رشح الزيت منها.

3- نظافة و طلاء الخزان وتناسقه كوحدة كاملة.

4- فحص المشعاع والتأكد من خلو الرشح من مواضع الربط وكذا مواضع اللحام وسلامة عمل البلوف.

5- فحص الخزان المساعد والتأكد من خلو الخزان من الضرر الميكانيكي الخارجي، عدم رشح الزيت في مواضع الربط واللحام وكذا ملاحظة سلامة مبين مستوى الزيت والشكل العام للخزان.

6- فحص غطاء المحول ويشمل على ملاحظة الغطاء نفسه والتأكد من خلوه من الانبعاج أو أي ضرر ميكانيكي آخر وكذلك مناطق اللحام وغلق كل الفتحات غير المستخدمة لعدم دخول الحيوانات والقوارض.

8- التأكد من أن مستوى الزيت في المحول بالقدر الكافي للتشغيل بحيث لا يقل عن أدنى مستوى مبين على خزان التمدد واذا احتاج الأمر فيمكن تزويد الزيت عن طريق الفتحة العليا بخزان التمدد وبنفس نوع الزيت الأصلي أو المعادل له مع التأكيد على عدم دخول رطوبة

9- التأكد من لون الملح السيلكاجل الأزرق أو الأبيض حتى يمكنه امتصاص الرطوبة فإذا تحول إلى اللون الأحمر الوردى فإنه يجب إعادة تجفيف الملح بتعريضه لدرجة حرارة لا تزيد عن 140م° حتى يستعيد لونه الأزرق أو بتغيير الملح.

10- التأكد من انعدام رشح الزيت من مناطق اللحام والتأكد من الإحكام الجيد لها.

11- التأكد من أن عداد درجة حرارة الزيت وعداد درجة حرارة الملفات تعمل بصورة سليمة، بحيث يكون دائما المؤشر الأحمر أعلى من المؤشر الأسود وفي نفس الوقت يرتفع المؤشر الأسود عند زيادة درجة الحرارة وزيادة الأحمال وينخفض عند انخفاض درجة الحرارة ونقص الأحمال.

12- ونظافة أنابيب التبريد والمشعاع (الريدياتير).

13- التأكد من نظافة الغرفة الموجود فيه المحول وخلوة من المواد القابلة للاشتعال، وكذلك خلو أرضية الغرفة من المواد الزلقة وأي مواد تعيق الحركة حول المحول.

14- التأكد من كفاءة إنارة وتهوية غرفة المحول.

15- التاكد من إحكام غلق غرفة المحول وعدم السماح بالدخول لغير المختصين.

3- فحص الأجزاء الداخلية للمحول

حيث إن مكونات المحول الداخلية غير ملموسة فيتم ملاحظتها عن طريق الاختبارات كما سيأتي لاحقا أو عن طريق إخراج القلب الحديدي والملفات.

ثانيا : أعمال الصيانة التي تتطلب إخراج القلبة الحديدي (وغالبا تتم هذه الصيانة بورش المحولات ومعامل الاختبارات)

1- فك المحول وإخراج جسم المحول (القلب الحديدي والملفات) من خزانه الرئيسي وإجراء الفحوصات الكهربية على ملفات المحول للتأكد من مقدار المقاومة وقوة العزل وعدم تواجد حالات قطع كاملة أو ناقصة.

2- تنظيف جسم المحول من العوالق ومعظمها من رايش الحديد والنحاس ومواد كربونية ودهون وشحومات صناعية حدثت من تحلل مكونات العزل مع مرور الزمن.

3- عند الحاجة إلى إخراج الملفات من القلب الحديدي يتطلب فك الصفائح الحديدية السليكونية وتنظيفها والتأكد من سلامة عزلها ومن ثم تجميعها وربطها بإحكام.

4- إعادة ربط التأريض بإحكام والتأكد من استمراريته.

5- غسيل المحول بالكامل (ملفات + قلب حديدي + مغير جهد + خزان + زعانف) بالزيت الساخن والهواء المضغوط (هواء جاف مار خلال مجفف) وجمع الرواسب.

6- تجفف الملفات وتستبدل عوازلها التالفة وتنظف من رواسب الزيت ويعاد تركيبها

7- معالجة أطراف مغير الجهد الثابتة والمتحركة وإعادة التربيط عليها.

8- تنظيف نهايات الملفات واستبدال عوازلها التالفة والتأكد من متانة لحاماتها.

9- التأكد من عدم تواجد لحامات رديئة في خزان المحول وإعادة اللحام عند الحاجة.

10- تغيير كافة جوانات المحول.

11– تقليل الوقت الذي يتعرض فيه المحول للهواء تفاديا لمشاكل الرطوبة.

12– تركيب المحول مرة أخرى مع إعادة ضخ الزيت الجديد من أسفل إلى أعلى ببطء مع فتح منفذ للهواء الخارج بفعل دخول الزيت.

13– عمل دورة تكرير لزيت المحول على أن تشمل دورة الزيت على تجفيف الزيت والملفات.

14– فحص أجهزة الوقاية وملاحظة مدى انتظام عملها واستبدال الأجزاء التالفة منها.

الفصل الثاني

الاختبارات على الملفات

الاختبارات التي تتم على الملفات

1- قياس مقاومة العزل لملفات للمحولات

يتم قياس عزل الملفات للأسباب التالية :

1- يتم قياس عزل الملفات للتأكد من أن العزل بحالة جيدة.

2- لكي يتم أخذ قراءة تعتبر كمرجع لقيمة مقاومة العزل.

3- لحماية الأشخاص من خطر الصدمة الكهربية.

4- لاكتشاف بداية تلف العزل لكي يتم عمل ترتيبات معينة للإصلاح (نظافة - ورنيش - تجفيف - إعادة لف).

5- تقليل زمن التوقف للحد من الفقد في الإنتاج.

ما هي أسباب انهيار العزل ؟

1- الإجهاد الكهربي

أ- (over voltage & under voltage) - الزيادة في الجهد والهبوط في الجهد يسببان إجهادا داخل العزل يعمل على تشقق العزل أو تكوين رقائق في العزل مما يضعف العزل.

ب- Voltage transients الجهود العابرة الناتجة من الصواعق أو من أجهزة مغيرات السرعة تعمل كذلك على ضعف العزل.

2- الإجهاد الميكانيكي

أ- حدوث خبطات للكابلات أثناء عمليات الحفر والتمديد.

ب- (out of balance)تشغيل الآلات في حالة عدم الاتزان.

ت- تشغيل وإيقاف المعدات بصفة متكررة.

ث- (Vibration) تشغيل الآلات في حالة وجود الاهتزازات.

3- الإجهاد الكيميائي

أ- الأتربة والزيوت والمواد الكيميائية تؤثر على العزل وتعمل على تحطيم التركيب الجزيئي للعزل.

ب- الأبخرة الآكلة Corrosive vapors الموجودة في الوسط المحيط تعمل على تغير خواص العزل وتحوله إلى مادة موصلة.

4- الإجهاد الحراري

تشغيل الآلات في درجات حرارة عالية أو درجات حرارة منخفضة يعمل على حدوث تمدد وانكماش للعزل، وهذا بدوره يعمل على حدوث تشققات بالعزل يؤدي في النهاية إلى تلف العزل.

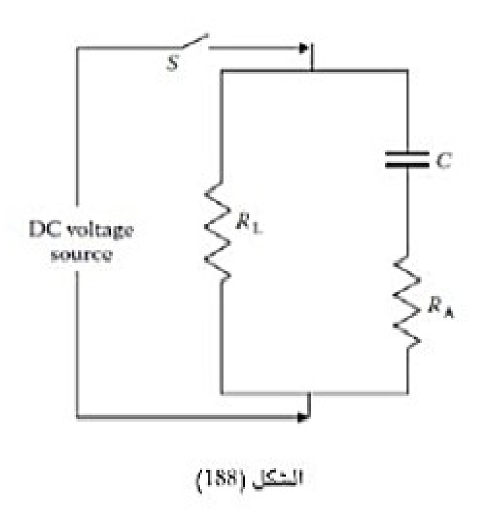
5- التلوث البيئي

أ- تعرض العزل للقوارض.

ب- تكوين الأتربة والرطوبة والملوثات على سطح العزل.

ت- حدوث تغير في الخواص الفيزيائية لمادة العزل مع مرور الوقت.

النظرية العامة لقياس مقاومة العزل



الشكل (188)

يمكن تطبيق قانون أوم لمعرفة كيفية قياس مقاومة العزل

$$R = V / I$$

- حيث I هو التيار الكلي الذي يمر من خلال العزل من الموصل إلى الأرض وليس تيار الحمل.
- V هو الجهد المستمر الذي يتم تسليطه من جهاز قياس العزل (الميجر).
- يقوم جهاز الميجر بحل المعادلة بصفة دورية وحساب المقاومة (R).
- C التيار السعوي (تيار شحن المكثف).
- RA تيار الامتصاص.
- RL تيار التسرب الأرضي.
- DCمصدر التيار المستمر.

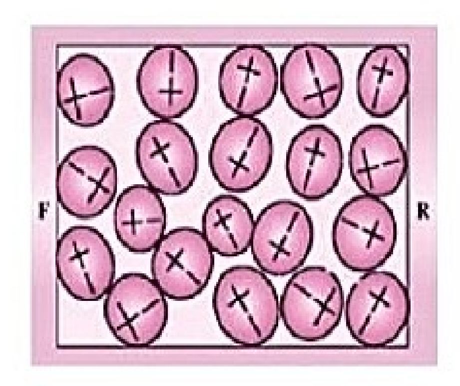
1- التيار السعوي (Capacitive Current)

المكثف عبارة عن أي موصلين بينهما عازل، وعلى ذلك فإنه يتكون مكثف بين الملفات وجسم المعدة وكذلك بين الملفات وبعضها.

فعند تسليط الجهد المستمر فإن المكثف يبدأ في الشحن ويسحب تيارا سعويا كبيرا جدا في البداية وحين يتم الشحن فإن هذا التيار يقل حتى يصل إلى الصفر.

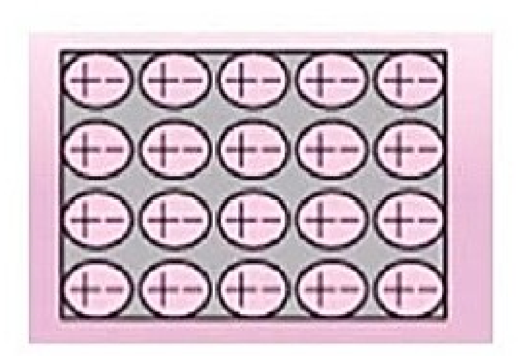
2- تيار الامتصاص (Absorption Current)

الشكل (197) يوضح التركيب القطبي لجزئ عازل غير مشحون وعند تسليط الجهد المستمر على العازل فيتم تكوين شحنات موجبة على أحد الجانبين وشحنات سالبة على الجانب الآخر، وجود هذه الشحنات على الجانبين يعمل على استقطاب الجزيئات في العازل أي إعادة ترتيب الشحنات السالبة في العازل ناحية الجانب الموجود به الشحنة الموجبة للمصدر والعكس بالنسبة للجانب الموجود به الشحنات السالبة.



الشكل (189) يوضح الكيان القطبي لجزئ عازل غير مشحون

ترتيب الشحنات في العازل يعمل على مرور تيار هذا التيار يسمى تيار الامتصاص أو تيار الاستقطاب هذا التيار ناتج عن ترتيب الشحنات وليس انتقال الشحنات، كما بالشكل (198)، هذا التيار يكون كبير في البداية ويقل مع الوقت وغالبا يستغرق الاستقطاب 10 دقائق فأكثر.



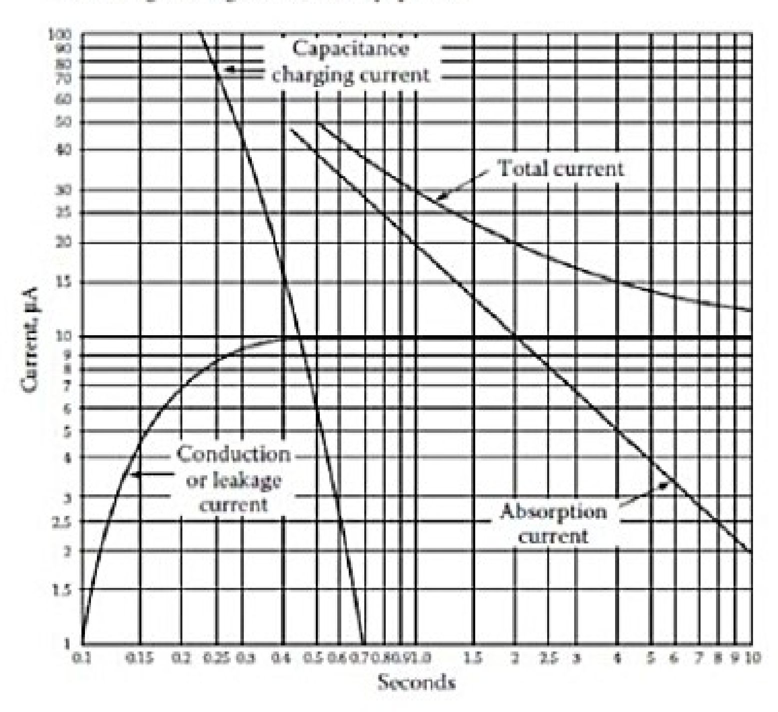
الشكل (190) يوضح مادة عازلة مستقطبة

3- تيار التسرب (Leakage Current)

من المفروض أنه لا يمر أي تيار من العزل إلى الأرض ولكن نتيجة لعدم وجود عزل مثالي فإنه يوجد تيار يمر إلى الأرض يسمى تيار التسرب وهذا التيار

يكون له قيمة ثابتة عند كل قيمة جهد ويتناسب عكسيا مع قيمة المقاومة فإذا كانت المقاومة كبيرة كان تيار التسرب صغير وإذا كانت المقاومة صغيرة كان التيار كبير عند نفس الجهد و قد تصل قيمة تيار التسرب إلى 10 ميكروأمبير.

الرسم البياني (الشكل 199) يوضح التيار إذا كان العزل نظيفا وجافا.



الشكل (191)

العوامل التي تؤثر في العزل

1- السطح الخارجي

– مقاومة العزل تتناسب طرديا مع سمك العزل وعكسيا مع مساحة السطح.

– تيار التسرب يعتمد على الزيوت والأتربة المتكونة على السطح الخارجي للعزل، حيث إن الأتربة تكون غير موصلة عندما تكون جافة ولكن تكون موصلة عندما تكون رطبة.

- عندما توجد شقوق أو ثقوب في العزل يتم دخول الأتربة والرطوبة التي تتأين عند تسليط الجهد عليها فتقل المقاومة ويزيد تيار التسرب.

2- **الإجهاد الحراري**

- قيمة مقاومة العزل تتناسب عكسيا مع درجة الحرارة، فقيمة مقاومة العزل ودرجة حرارة منخفضة أعلى من قيمة مقاومة العزل ودرجة حرارة عالية

من المعروف أن :

1- قيمة مقاومة عزل الملفات وهي خارج الزيت أعلى من قيمة المقاومة والملفات مغمورة في الزيت.

عند قياس مقاومة العزل يجب الالتزام بالتعليمات الآتية :

1- التأكد من تأريض جسم المحول.

2- ربط أطراف الملف الابتدائي معا.

3- ربط أطراف الملف الثانوي معا.

طرق قياس مقاومة العزل:

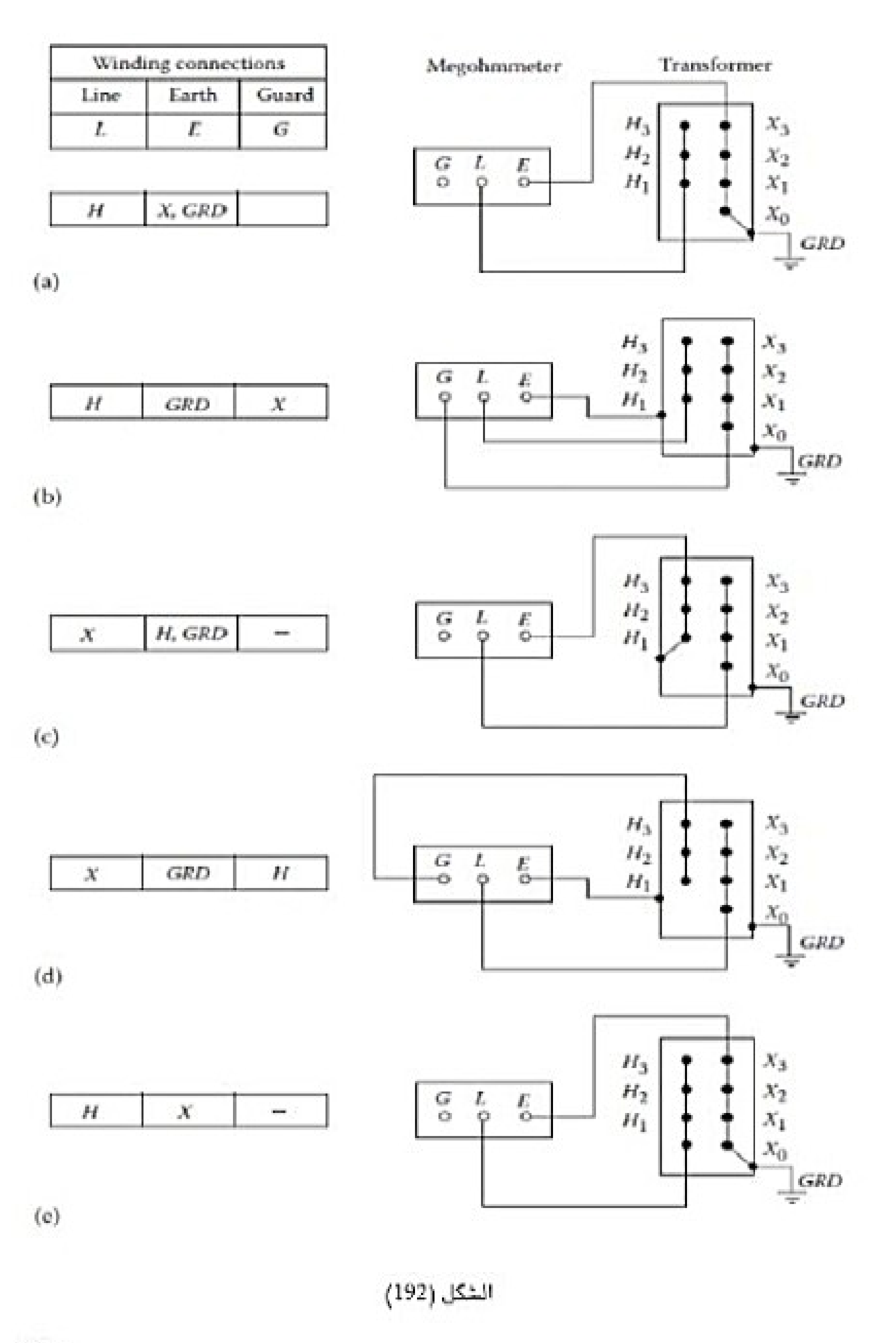
1- قياس مقاومة العزل للملف الابتدائي مع(الملف الثانوي وجسم المحول) (HV – (LV + Ground))، الشكل 183 (a) ، أي يتم ربط الملف الثانوي مع جسم المحول وتوصيلهم مع أحد طرفي جهاز الميجر وتوصيل الملف الإبتداي مع الرف الثاني للميجر.

2- قياس مقاومة العزل للملف الثانوي مع(الملف الابتدائي وجسم المحول) (LV – (HV + Ground))، الشكل 183 (c).

3- قياس مقاومة العزل للملف الابتدائي مع جسم المحول (يتم ربط الثانوي مع الطرف Guard) (HV – Ground) and(LV + Guard)، الشكل 183 (b).

4- قياس مقاومة الملف الثانوي مع جسم المحول (يتم ربط الملف الابتدائي مع الطرف Guard) (LV –Ground and (HV + Guard))، الشكل 183 (d).

5- قياس مقاومة الملف الابتدائي مع الملف الثانوي (يتم ربط جسم المحول مع الملف الثانوي مع الأرض) (HV – LV)، الشكل 183 (e).


Winding connections
Line
Earth
Guard
L
E
G
Megohmmeter
Transformer
H
X, GRD
(a)
H
GRD
X
(b)
X
H, GRD
–
(c)
X
GRD
H
(d)
H
X
–
(e)
G L E
H_3 H_2 H_1
X_3 X_2 X_1 X_0
GRD

الشكل (192)

الجهد المستخدم في الإختبار

إذا ذكرت الشركة المصنعة قيمة معينة لجهد الاختبار فيجب الالتزام بها وإن لم يذكر قيمة معينة فيتم استخدام 5000 فولت لقياس مقاومة العزل بين ملفات الجهدالعالي وجسم المحول وبين ملفات الجهدالعالي وملفات الجهد المنخفض وإستخدام جهد 2500 فولت أو 1000 فولت بين ملفات الجهد المنخفض وجسم المحول

القيم المسموح بها لقيمة مقاومة العزل

إذا ذكر المصنع قيمة لمقاومة العزل، فتعتبر هذه القيمة هي المرجع الذي من خلاله يتم تقييم العزل، وإذا لم يذكر المصنع أي قيمة لمقاومة العزل فيتم قياس قيمة المقاومة قبل دخول المعدة في الخدمة أو بعد دخول المعدة في الخدمة، مع مراعاة درجة الحرارة اثناء القياس واعتبار هذه القيمة مرجعا لتقييم حالة العزل فيما بعد، ويجب العلم بأن كل معدة لها قيمة مقاومة العزل الخاصة بها، فمثلا من الممكن أن يكون هناك محولان لهما نفس القدرة ونفس سنة الصنع ولكن لكل منهم قيمة مقاومة عزل مختلفة عن الأخر.

وهناك بعض المصادر التي تعطينا قيم تقريبية لقيمة مقاومة العزل المقبولة

أقل قيمة مقاومة مقبولة للعزل عند درجة حرارة مقدارها $20^{\circ}C$ تساوي $1M\Omega$ لكل 1000 فولت من جهد التشغيل + $1M\Omega$.

System Voltage	Test Values
0 to 1000 V	1meg ohm /every 1 kV system voltage) + 1 KV)
1000 V to 34.5 kV	1meg ohm /every 1 kV system voltage) + 1 KV)
69 kV and up	1meg ohm /every 1 kV system voltage) + 1 KV)

عند قياس قيمة مقاومة العزل لابد من الأخذ في الاعتبار الآتي :

1- قيمة مقاومة العزل يمكن أن تثبت أن العزل تالف ولكن لاتثبت أن العزل سليم.

2- درجة الحرارة أثناء قياس قيمة مقاومة العزل فمن المعلوم أن قيمة مقاومة العزل تتناسب عكسيا مع درجة الحرارة، فتقل القراءة إلى النصف عندما تزيد درجة الحرارة بمقدار 10 درجة مئوية.

3- يتم قياس معامل الامتصاص Absorption Factorوهو خارج قسمة قيمة العزل عند 60 ثانية على قيمة مقاومة العزل عند 15 ثانية.

الحالة	القيمة عند 60 ثانية \ القيمة عند 15 ثانية دون توقف الميجر
العزل به رطوبة	أقل من 1.2
العزل جيد	من 1.2 إلى 3

4- يتم قياس معامل الاستقطاب Polarization Index وهو خارج قسمة قيمة العزل عند 10 دقائق على قيمة مقاومة العزل عند 1 دقيقة.

الحالة	القيمة عند 10 دقائق \ القيمة عند 1 دقيقة دون توقف الميجر
العزل ضعيف جدا	أقل من 2
العزل جيد	من 2 إلى 3

١- قياس مقاومة العزل للملف الابتدائي مع(الملف الثانوي وجسم المحول)

1- يتم توصيل الملف الابتدائي مع الطرف (L أو-V) لجهاز الميجر.

2- يتم توصيل الملف الثانوي مع جسم المحول المؤرض مع الطرف E أو (R+) لجهاز الميجر.

3- يتم ترك الطرف Guard دون توصيل.

4- يتم ضبط قيمة جهد القياس للميجر عند 5000 فولت.

5- يتم أخذ القراءة عند 15 ثانية وعند 60 ثانية بدون توقف الميجر.

يتم عمل تفريغ لشحنة المحول عند عملية قياس العزل أو في عمليات الصيانة.

لأنه عند لحظة إنعدام التيار تتولد قوة دافعة كهربية مستحثة طردية تقاوم انهيار التيار الأصلي نتيجة الحث الذاتي للملف.

وهذه القوة الدافعة تكون صغيرة في السلك المستقيم (لذلك لا يتم تأريض أطراف الكابل) وتكون كبيرة جدا في الملف الملفوف حول قلب من الحديد المطاوع لأن الحديد المطاوع يعمل على زيادة تركيز خطوط الفيض المغناطيسي التي تقطع الملف .

استخدام طرف الـ GUARD

جهاز الميجر يولد جهدا مستمرا، وهذا الجهد عندما يسلط على مادة العزل فإنه يسبب مرور تيار، وعن طريق قانون أوم يتم حساب المقاومة ويتم عرضها على شاشة جهاز الميجر و يوجد مساران للتيار الذي يمر خلال مادة العزل:

1- التيار الذي يمر خلال مادة العزل ومنه يتم حساب مقاومة مادة العزل Volume Resistance .

2- التيار الذي يمر خلال سطح العزل ومنه يتم حساب المقاومة النوعية السطحية Surface Resistance وهذه المقاومة تعمل على تقليل المقاومة الكلية للعزل ويتم التخلص منها باستخدام طرف الـ Guard في جهاز الميجر.

يتم توصيل طرف الـ GAURD مع أي جزء في الدائرة لانريد أن دخول قيمة

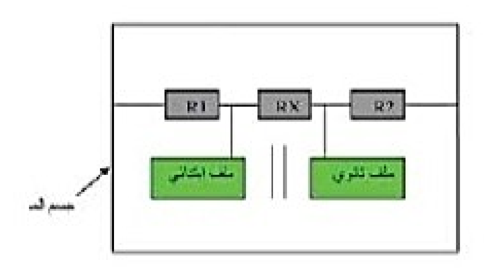
مقاومته في الدائرة، فعند توصيل هذا الطرف مع أي جزء في الدائرة لا يمر تيار في هذا الجزء وبالتالي لا تدخل مقاومته ضمن المقاومة التي يتم قياسها، ففي حالة قياس مقاومة العزل بين الملف الابتدائي و الثانوي فإنه تظهر ثلاث مقاومات كالآتي:

Rx مقاومة العزل بين الملف الابتدائي والملف الثانوي.

R1 مقاومة العزل بين الملف الابتدائي وجسم المحول.

R2 مقاومة العزل بين الملف الثانوي وجسم المحول.

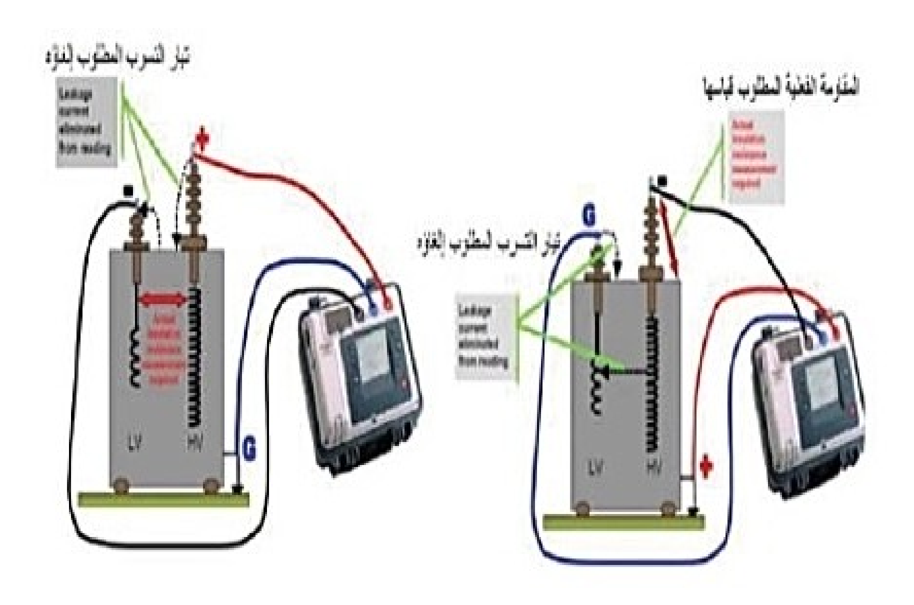
وفي هذه الحالة تظهرRx وكأنها على التوازى مع (R1 + R2).



الشكل (193)

فمثلا إذا كان $RX = 3000\ M\Omega$ و $R1 = R2 = 100\ M\Omega$ فإن قيمة المقاومة في حالة عدم استخدام الـ Guard $Rx = 187.5\ M\Omega$ أما في حالة استخدام الـ Guard فإن التيار لا يمر في المقاومات R1 & R2 وبذلك يتم حساب المقاومة RX فقط وهي المقاومة بين الملف الابتدائي والملف الثانوي وهي المقاومة المطلوبة ولا يتم حساب المقاومة بين الملف الابتدائي وجسم المحول والملف الثانوي وجسم المحول.

والشكل التالي يوضح كيفية استخدام طرف الـ Guard في قياس قيمة مقاومة العزل في المحول



الشكل (194)**إستخدام طرف** Gaurd

2- قياس مقاومة الملف الابتدائي والملف الثانوي (استمرارية التوصيل)

الهدف من الاختبار:

- قياس مقاومة الملفات .
- التأكد من سلامة الملفات وعدم وجود قصر بأحد الملفات .
- التأكد من سلامة نقاط التوصيل واللحامات داخل المحول .

الأجهزة المستخدمة:

جهاز ميكروأوميتر أو جهاز فولتميتر ويضبط على تدريج قياس المقاومة .

الإحتياطات الواجب مراعاتها عند عمل الاختبار:

1- فصل المحول من جانبى الجهد المنخفض والمتوسط.

2- التأكد من سلامة أجهزة القياس.

3- تفريغ الشحنة الموجودة بالمحول.

4- استخدام مبين الجهد للتأكد من عدم وجود جهد على المحول .

خطوات إجراء الاختبار:

1- قياس المقاومة بين كل وجهين من جانب الجهد المتوسط وتسجيل القراءات RS1 ، ST1 ، RT1 .

2- تغيير وضع مغير الجهد وتكرار الخطوة السابقة عند كل نقطة من نقاط مغير الجهد.

3- قياس المقاومة بين كل وجهين من جانب المنخفض وتسجيل القراءات RS2 ، ST2 ، RT2.

4- قياس المقاومة بين كل وجه والتعادل فى جانب المنخفض وتسجيل القراءات TN ، SN ، RN .

الإستنتاج:

فى حالة المحول السليم يجب أن يتحقق الآتى:-

1- RS1 = ST1 = RT1.

2- RS2 = ST2= RT2.

3- RN = SN = TN .

3- اختبار الجهد العالي High voltage test

أسماء الاختبار :

1- Dieelectric strength test

2- HiPot test (High potential test)

3- Dielectric withstand test

4- Proof test

الغرض من الاختبار :

قد يظن البعض أن اختبار قياس مقاومة العزل Insulation test يكون كافيا للتأكد من صلاحية العزل ولكن هناك بعض العيوب في العزل لا يتم اكتشافها عن طريق اختبار مقاومة العزل مثل عيوب الصناعة أوالثقوب Pinholes والحزوز Nicked (إذا كانت الثقوب والحزوز نظيفة وليس بها أتربة أو ملوثات لا تظهر في اختبار مقاومة العزل) والعزل المهشم أو المحطم Crushed insulation، وحيث إن المعدة قد تتعرض للجهود العالية High voltage أثناء ظروف التشغيل العادية Normal operation كالجهود العابرة Voltage transients الناتجة من البرق والصواعق Lightning أو من أجهزة مغيرات السرعة Variable speed drives أوأثناء عملية فتح وقفل المفاتيح Switching في دوائر الجهد العالي، فعند وجود هذه العيوب في العزل ويتعرض للجهود العالية فقد يحدث انهيار للعزل ويمر تيار تسرب كبير leakage current بين الموصل والهيكل المعدني Chassic or enclosure مما يتسبب في أضرار كبيرة على الأشخاص والمعدات، فيتم إجراء هذا الاختبار للتاكد من قوة أو شدة العزل Strength of insulation مما يجعله لا يتأثر بالجهود العالية التي يتعرض لها أثناء ظروف التشغيل العادية. وهناك مثال يوضح الفرق بين اختبار مقاومة العزل واختبار الجهد العالي هو اختبار رسم القلب

العادي واختبار رسم القلب بالمجهود، فإجراء اختبار رسم القلب للمريض أثناء الراحة وعدم قيامه بأي مجهود يخرج بصورة طبيعية وهو بالتالي يشبه اختبار مقاومة العزل، ولكن ربما لاتظهر الأعراض أو العلامات المرضية عند الأشخاص المصابين بأمراض الشرايين التاجية للقلب في حالة الراحة أو النشاط العادي ولإظهار هذه العلامات أو الأعراض يعرض الشخص للإجهاد مع مراقبة دقيقة لتخطيط القلب الكهربائي وسرعة النبض وضغط الدم ويساعد ذلك على تشخيص أمراض معينة في القلب واستعداد القلب للمجهود المرهق وهو يشبه اختبار الجهد العالي.

متى يتم الاختبار :

1- يتم هذا الاختبار بعد عملية التصنيع Manufacturing process

2- يتم هذا الاختبار بعد عملية التركيب للمعدات Installation

3- يتم هذا الاختبار بعد عملية الإصلاح Repair

الإحتياطات الواجب مراعاتها عند عمل الاختبار :

1- فصل المحول من جانبي الجهد المنخفض والمتوسط.

2- التأكد من سلامة أجهزة القياس.

3- تفريغ الشحنة الموجودة بالمحول.

4- استخدام مبين الجهد للتأكد من عدم وجود جهد على المحول.

نوع جهد الاختبار :

1- جهد متردد AC Voltage

$$VTest = [\,2V + 1000\,] \times 0.6$$

حيث :

VTest = جهد الاختبار

V = جهد التشغيل

0.6 = معامل الرطوبة

2- جهد مستمر DC Voltage

$$VTest = [\ 2V + 1000\ ] \times 1.65 \times 0.6$$

حيث :

VTest = **جهد الاختبار**

V = **جهد التشغيل**

1.65= **عدد ثابت للتحويل من الجهد المتغير للجهد الثابت**

0.6 = **معامل الرطوبة**

كيف يتم الاختبار:

تختلف نظرية عمل اختبار الجهد العالي عن نظرية عمل اختبار مقاومة العزل، ففي اختبار مقاومة العزل يتم تسليط جهد الاختبار على المعدة وعن طريق قانون أوم يتم حساب التيار داخل الجهاز ويتم عرض قيمة مقاومة العزل على شاشة الجهاز أما في اختبار الجهد العالي يتم تسليط الجهد العالي على المعدة ويتم حساب المقاومة داخليا وتم ظهور تيار التسرب على شاشة الجهاز.

$$VTest = [\ 2V + 1000\ ] \times 1.65 \times 0.6$$

حيث :

VTest = **جهد الاختبار**

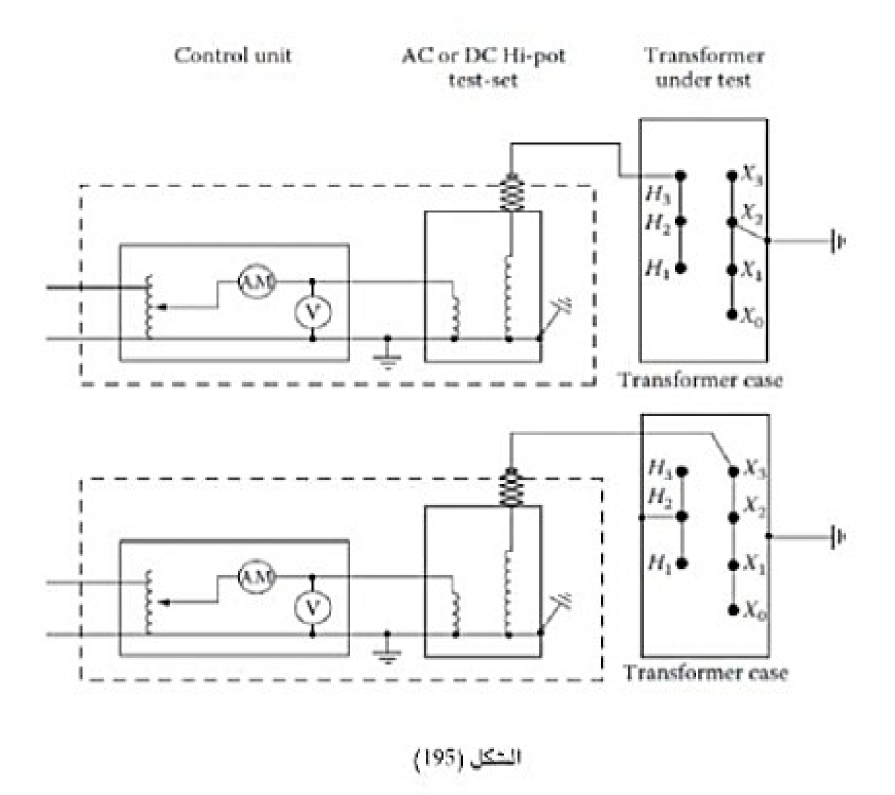
V = **جهد التشغيل**

1.65= **عدد ثابت للتحويل من الجهد المتغير للجهد الثابت**

0.6 = **معامل الرطوبة**

كيف يتم الاختبار:

تختلف نظرية عمل اختبار الجهد العالي عن نظرية عمل اختبار مقاومة العزل، ففي اختبار مقاومة العزل يتم تسليط جهد الاختبار على المعدة وعن طريق قانون أوم يتم حساب التيار داخل الجهاز ويتم عرض قيمة مقاومة العزل على شاشة الجهاز أما في اختبار الجهد العالي يتم تسليط الجهد العالي على المعدة ويتم حساب المقاومة داخليا وتم ظهور تيار التسرب على شاشة الجهاز.



الشكل (195)

نتيجة الاختبار:

حيث إن جهاز القياس به عداد للجهد وعداد لتيار التسرب، فإذا كان العزل سليم ولا يوجد به عيوب، فعند رفع الجهد إلى القيمة التي يتم الاختبار عندها نلاحظ ثبات الجهد وثبات تيار التسرب (تيار التسرب قد يصل إلى 5 ملي أمبير وهي قيمة التيار التي يبدأ الإنسان في التأثر بها) أما إذا كان العزل غير سليم نلاحظ أن الجهد لا يزيد ولكن يزيد تيار التسرب حتى يتم فصل جهاز القياس.

ترتيب الاختبارات:

بعد عملية التركيب أو عملية الإصلاح يجب الالتزام بترتيب الاختبارات كالتالي:

1- اختبار قياس المقاومة.

2- اختبار قياس مقاومة العزل Insulation test.

3- اختبار الجهد العالي.

4- اختبار نسبة التحويل

الغرض من الاختبار :

- قياس نسبة التحويل للمحول والتأكد من سلامتها عند جميع نقاط مغير الجهد .

T. R = V1N1 = V2N2

الأجهزة المستخدمة :

1- جهاز اختبار نسبة التحويل Transformer Turns Ratio (TTR)

2- أو مصدر جهد 380 فولت ثلاثى الأوجه - جهاز فولتميتر.

الاحتياطات الواجب مراعاتها عند عمل الاختبار :

- فصل المحول من جانب الجهد المتوسط وجانب الجهد المنخفض .

- نظافة أطراف التوصيل.

- فصل مصدر الجهد قبل تغيير وضع مغير الجهد .

- خطوات إجراء الاختبار (الطريقة الثانية) :

1- ضبط مغير الجهد على الوضع رقم 1.

2- تسليط جهد ثلاثى الأوجه 380 فولت على جانب الجهد المتوسط .

3- قياس جهد الخط على جانب الجهد المنخفض وكذلك جهد الوجه .

4- نقسم جهد الخط (VL) في الجانب المتوسط على جهد الخط (VL) في الجانب المنخفض ونقارن الناتج نسبة التحويل الخاصة بالنقطة رقم «1» لمغير الجهد فى لوحة البيانات .

5- نقوم بفصل مصدر الجهد عن المحول .

6- نقوم بتغيير مغير الجهد على الوضع رقم (2) ثم (3) ثم (4) ثم (5) ونكرر الخطوات السابقة .

الإستنتاج :

أ- يجب تساوى جهد الوجه على الأوجه الثلاثة VTN = VSN = VRN .

ب- يجب تساوى جهد الخط على الأوجه الثلاثة VRT = VST = VRS .

نسبة التحويل الاسمية لمحول 0,4/11 ك . ف

وضع مغير الجهد	الجهد الابتدائي (فولت)	الجهد الثانوي (فولت)	نسبة التحويل
1	11550	400	28.87
2	11275	400	28.18
3	11000	400	27.50
4	10725	400	26.81
5	10450	400	26.12

نسبة التحويل الاسمية لمحول 6,6/0,4 ك . ف

وضع مغير الجهد	الجهد الابتدائي (فولت)	الجهد الثانوي (فولت)	نسبة التحويل
1	6930	400	17.325
2	6765	400	16.913
3	6600	400	16.5
4	6435	400	16.087
5	6270	400	15.675

5- **اختبار** Loss angle ، Dissiption factor :

أسماء الاختبار :

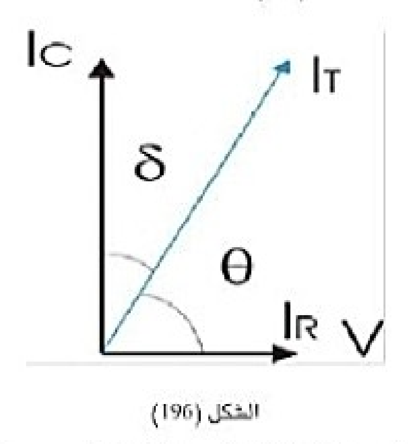
1- Tan Delta ، Tan δ

2- Power Factor ، Cos Φ

الغرض من الاختبار :

الغرض من اختبار قياس زاوية الفقد هو التأكد من حالة العزل، فلو كان العزل خاليا من الجيوب الهوائية والفراغات والرطوبة والتشجر المائي والتشجر الكهربي فإن العزل يكون كمكثف مثالي، وبالتالي يمر به تيار سعوي فقط،

ومن المعروف أنه في المكثف المثالي تكون الزاوية بين الجهد والتيار تساوي 90 درجة، فلو كان العزل به بعض الشوائب فإن مقاومته تقل ويمر تيار مادي في العزل، وبالتالي لا يصبح مكثفا مثاليا وتصبح الزاوية بين الجهد والتيار أقل من 90 درجة، انظر الشكل (186).



الشكل (196)

إذا تم قياس النسبة بين التيار المادي والتيار السعوي Ir / Ic وهو ما يعرف بظل الزاوية دلتا (δ) كما في الشكل (186) فإن هذا الاختبار يطلق عليه Tan δ

أما إذا تم قياس النسبة بين التيار المادي والتيار الكلي Ir / It وهو ما يعرف بجيب تمام الزاوية (θ) وهو ما يعرف باختبار (Power Factor) .

ويجب العلم بأنه على الرغم من أن الاختبارين متشابهان إلا أن لكل اختبار أجهزته الخاصة به.

وبالتالي فإن قيمة الزاوية تحدد حالة العزل فإذا كان العزل سليما تكون الزاوية قريبة من الصفر وإذا كان العزل به أي من الشوائب السابقة فإن الزاوية تزيد.

الفصل الثالث

الاختبارات على الزيت

الاختبارات التي تتم على الزيت

من أهم الاختبارات التي تتم على الزيت الآتي :

1- الاختبار الكهربي

2- الاختبار الكيميائي

أولا : الاختبار الكهربي (جهد كسر العزل للزيت)

هذا الاختبار يتم عن طريق جهاز اختبار عزل الزيت للتأكد من أن الزيت خالٍ من الشوائب وبخار الماء والأحماض الموصلة للجهد

الغرض من الاختبار:-

قياس جهد الانهيار الكهربى (Break Down Voltage) لزيت المحولات في الحالات التالية :

1- سنويا في عملية الصيانة الروتينية.

2- عند حدوث قصر أو فصل للمحول بجهاز البوخهلز أو بجهاز الوقاية التفاضلية.

الأجهزة المستخدمة :

جهاز اختبار عزل الزيت (Oil Tester).

الاحتياطات الواجب مراعاتها قبل عمل الاختبار :

1- التأكد من أن جهد تشغيل جهاز الاختبار 220 فولت.

2- التأكد من توصيل أرضي الجهاز جيداً .

3- يجب أن يكون مستوى الزيت أعلى من الأقطاب بمسافة 40 مم.

4- يجب أن تكون الثغرة بين قطبي جهاز الاختبار 1/ 10 بوصة أي (2.5) مم .

خطوات إجراء الاختبار:

طريقة أخذ عينة الاختبار

1- تؤخذ العينة بعد غسل الوعاء بالزيت نفسه وغطائه جيدا، ولا يتم تنظيف وعاء الفحص بقطعة قماش لمنع احتمالات سقوط شعيرات القماش وتلاصقها بجدران الوعاء ويجب عدم تعرض الزيت للضوء.

2- تؤخذ العينة بعد تسريب الزيت من الطبة أو الصنبور بحوالي 3 لتر تحاشيا للرواسب، ويتوقف تحديد مكان أخذ العينة على نوع السائل الموجود بالمحول، فالسوائل التي لها كثافة نوعية أعلى من واحد صحيح مثل الـ Askarels يجب أن تؤخذ عينتها من قمة المحول لأنه لو كانت هناك فقاقيع مياه مثلا بالزيت ستطفو لأنها أقل كثافة منه، لذلك نأخذ العينة من أعلى لتمثل حقيقة السائل الفعلية، أما الزيوت المعدنية Mineral Oil فإن كثافتهاأقل من الماء فتطفو فوق الماء ولذلك تؤخذ العينة من أسفل المحول.

3- يغسل وعاء الاختبار جيدا مرتين بالزيت نفسه من كل مكان بما في ذلك نصفي كرة الاختبار (يتم ضبط المسافة بين نصفي الكرة 2.5 مم).

4- يسكب الزيت في الوعاء بحذر وببطء وعلى القطب النحاسي وبعيدا عن المنتصف تحاشيا لتكون الفقاعات حتى يصل إلى مستوى 20 مم من فوهته العليا ويجب عدم لمس الجهاز أو تحريك الزيت طوال فترة الاختبار.

طريقة الاختبار:

1- التأكد من عدم وجود فقاقيع هواء فى الزيت.

2- تترك العينة مغطاة في الجهاز لمدة 10 دقائق قبل تسليط الجهد لأول مرة.

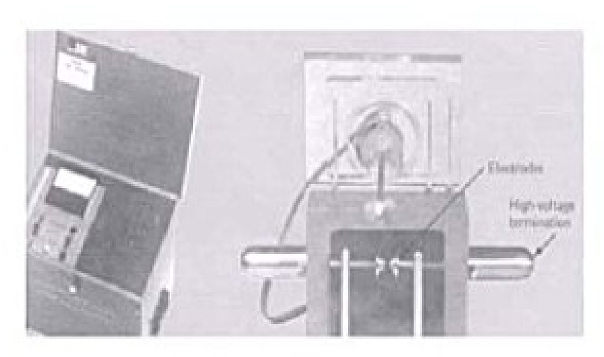
3- يتم تسليط الجهد الكهربي على الكرتين تدريجيا بمعدل 2-5 ك.ف/ثانية، مع ملاحظة جهاز الفولتميتر ويستمر الرفع حتى انهيار عزل الزيت، وعندها تفصل الدائرة الكهربية تلقائياً، ويسجل جهد انهيار العزل.

4- وبعد حدوث عملية الانهيار، يتم تقليب الزيت برفق بين الأقطاب بقضيب جاف ونظيف من الزجاج مع الاعتناء بتحاشي تكوين فقاقيع هواء بقدر الإمكان

5- تؤخذ 5 قراءات بعد الأولي بين كل قراءة والثانية عشر دقائق يتم خلالها تقليب عينة الزيت.

6- متوسط القراءات هو مجموع القراءات الخمسة (من الثانية حتى السادسة) مقسوما على 5.





الشكل (197)

جهد الكسر للزيت :

عند عمل اختبار كسر العزل لزيت المحول عند جهد التشغيل 6,6 ك.ف أو 11 ك.ف .

1- الزيت الجديد يكون جهد الكسر بحد أدنى 30 ك.ف / 2.5 مم2.

2- الزيت المستعمل يكون جهد الكسر بحد أدني 25 ك.ف / 2.5 مم2.

في بعض الأحيان يكون الزيت به رطوبة أو به شوائب يتم معرفتها عند انخفاض قيمة مقاومة العزل أوعند انخفاض جهد الكسر للزيت.

يوجد طريقتان لعلاج مشكلة انخفاض جهد الكسر أحدهما لإزالة الرطوبة فقط والثانية لإزالة الرطوبة والشوائب.

1- إزالة الرطوبة عن طريق تسخين الملفات

تتم هذه الطريقة عن طريق عمل قصر على ملفات الابتدائي وتسليط جهد متغير يمكن التحكم في قيمته على ملفات الثانوي حتى يتم رفع درجة الحرارة إلى 90 درجة مئوية ويظهر ذلك على عداد درجة الحرارة ويتم ذلك لمدة 72 ساعة ويتم فتح أي غطاء في المحول لخروج البخار.

2- إزالة الرطوبة والشوائب عن طريق ماكينة تكرير الزيت

عملية تكرير الزيت هي عملية تتم باستخدام ماكينة معينة تقوم بتنقية الزيت من الشوائب المعدنية والكربونية والمواد العالقة التي تتكون نتيجة تحلل الزيت وباقي المواد العازلة، وكذلك تقوم بامتصاص الرطوبة (الماء أوبخار الماء) من الزيت وذلك لإعادة جودة الزيت في العزل والتبريد وتتم عملية التكرير كالتالي :

1- يوصل طرفا الدخول والخروج للماكينة بخراطيم إلى فتحتين في المحول أحداهما سفلية والأخرى علوية، على أن تكون الفتحتان متباعدتين أقصى ما يمكن عن بعضهما حتى لا تحدث تيارات دوامية للزيت تجعل مسار الزيت مقصورا علي جانب دون جانب.

2- فيتم سحب الزيت من أعلى فيدخل إلى الماكينة مارا بفلاتر Filters (مرشحات) ليتم تنقيته ثم يتم تسخينه عن طريق سخاناتHeaters داخل الماكينة إلى درجة حرارة 80 °م ثم يمر على مصائد قاذورات Dirt traps لتمتص منه القاذورات.

3- يدخل الزيت على الرشاشات لينثر أو يذر Spraying داخل خزان الماكينة المفرغ تقريبا من الهواء (الضغط يساوي صفر تقريبا) بواسطة طلمبة التفريغ Vacuum Pump، في حين أن الضغط الجوي يساوي 1 كجم / سم2.

4- تفريغ الهواء يجعل الزيت يندفع من المحول إلى خزان الماكينة المفرغ بفرق الضغط.

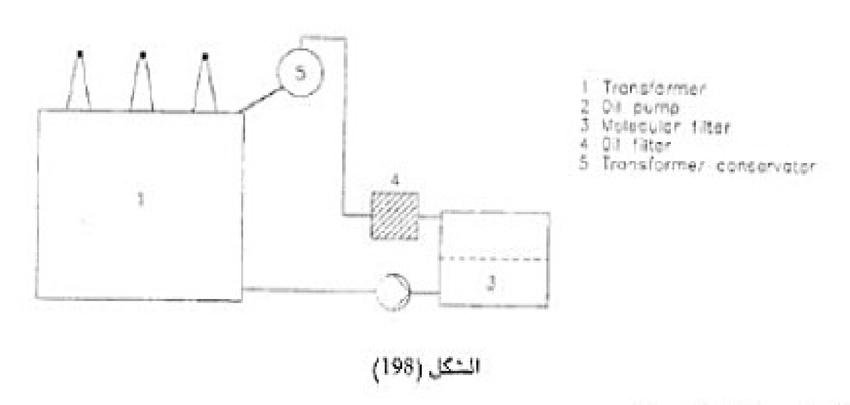
5- تفريغ خزان الماكينة يجعل بخار الماء ينفصل عن الزيت في اتجاه مكثف الماء Water Separation بينما يسقط الزيت جافا تقريبا داخل خزان الماكينة.

6- تفريغ الهواء يجعل الماء العالق بالزيت بخارا قبل الوصول إلى 100 °م لأن الماء تنخفض درجة غليانه بانخفاض الضغط الواقع على سطحه، فمثلا إذا وصل ضغط التفريغ إلى 52.6 سم زئبق فإن الماء يغلي ويتبخر عند درجة حرارة قدرها 70 °م.

7- عن طريق عمليتي التفريغ Vacuum والنثر Spraying يتم فصل الماء عن الزيت حيث يسحب بخار الماء بفعل التفريغ أو الشفط للخارج.

8- بعد ذلك يتم إرجاع الزيت إلى المحول مارا بفلاتر من نوع آخر لزيادة تنقيته عن طريق استخدام طلمبة تقوم بضخ الزيت ليدخل عن طريق فتحة في أسفل المحول.

9- في هذه العملية يتم سحب الزيت من أعلى المحول عن طريق بلف لسحب الزيت من المحول وبه خرطوم يوصل بأعلى المحول ويتم ضخ الزيت للمحول عن طريق بلف لإرجاع الزيت إلى المحول وبه خرطوم يوصل بأسفل المحول وذلك لضمان عدم تكون فقاعات هواء داخل الزيت.



الشكل (198)

ثانيا - اختبار كيميائي

يتم هذا الاختبار الكيميائي عن طريق أخذ عينة وتحليلها في معامل متخصصة لمعرفة نسبة الرطوبة والشوائب واللزوجة والحموضة وباقي مواصفات الزيت الطبيعية والكيميائية ومن هذه الاختبارات :

1- قياس الحموضة :

عن طريق هذا الاختبار يتم تعيين قيمة الحموضة الكلية في زيوت المحولات، حيث إن لها أضرارا جسيمة على المحول لما للأحماض من خواص كاوية تعمل على تآكل المعادن والورق السليلوزي وكل أنواع المواد داخل المحول.

2- قياس نقطة الوميض :

يتم تعيين نقطة الوميض للزيت، ونقطة الوميض هي أقل درجة حرارة لازمة لتصاعد غازات قابلة للاشتعال من الزيت وهي دليل على ثبات الزيت وقلة تطايره من عدمه فكلما ارتفعت القيمة دلت على كفاءة الزيت.

3- قياس نسبة الرطوبة :

يستخدم في تعيين كمية الماء في الزيت ومن المعروف أن وجود الماء (الرطوبة) يقلل من كفاءة الزيت على العزل الكهربي ويتم القياس داخل خلايا إلكتروكيميائية .

4- قياس اللزوجة :

اللزوجة هي مقاومة السائل للتدفق أو الانسكاب، فيتم قياس اللزوجة بحيث لا يكون الزيت شديد السيولة مثل الماء أو ثقيل مثل العسل أو الشحوم فيعيق حركة الزيت داخل المحول ويعيق انتقال الحرارة.

5- قياس كثافة الزيت

يتم قياس كثافة الزيت عن طريق الهيدروميتر، وكثافة زيت المحولات تتراوح بين 0.8 إلى 0.9

وهذه الاختبارات مهمة جدا لفحص عازلية الزيت واكتشاف بعض الأعطال التي يظهر تاثيرها على الزيت مثل :

1- حدوث شرارة داخلية Internal arc .

2- وجود تلامس ضعيف Bad contact .

3- وجود بقع ساخنة Hot spot .

4- حدوث تفريغ جزئي Partial discharge .

5- حدوث حرارة زائدة من الموصلات High temperature .

فحيث إن المحول الكهربي يعمل تحت ظروف وأحمال متغيرة، فقد يتعرض عزل الملفات لدرجات حرارة عالية، وكذلك قد يتعرض المحول إلى إجهادات حرارية وكهربية تعمل على تآكل المواد العازلة مثل ورق السليلوز والورق المضغوط والخشب، وبالتالي تنتج أنواع كثيرة من الغازات التي تذوب في الزيت، وهناك أسباب أخرى لحدوث تآكل أو انهيار للمواد العازلة مثل حدوث بقع ساخنة Hot spot أو حدوث قوس كهربي Arcing .

ويمكن تقسيم الغازات الذائبة في الزيت إلى ثلاثة أقسام :

1- غازات ناتجة من ظروف طبيعية للتشغيل.

2- غازات ناتجة من تحلل المواد السليلوزية Cellulose .

3- غازات ناتجة من تحلل الزيت بالحرارة أثناء الأعطال.

أولا : غازات ناتجة من ظروف طبيعية للتشغيل

درجات حرارة التشغيل العادية يمكن أن تتسبب في تحلل بسيط للزيت، وينتج من هذا التحلل غاز الهيدروجين وغاز الميثان، كما يمكن أن يكون هناك غازات أخرى نتيجة لعملية تكرير الزيت المعدني أو نتيجة عمليات الإصلاح مثل اللحام بالنحاس أو لحامات إصلاح تسرب الزيت ومن هذه الغازات غازي أول وثاني أكسيد الكربون CO & CO_2 .

ثانيا : غازات ناتجة من تحلل المواد السليلوزية Cellulose

ينتج من تحلل المواد العازلة السليولوزية كل من غازي أول وثاني أكسيد الكربون بنسب مرتفعة وتزيد النسبة بزيادة عمر المحول، بالإضافة إلى عملية تجفيف المحولات ثم ملء المحولات بالزيت في المصانع ينتج عنها تحلل المواد العازلة السليولوزية، وفي حالة المحولات التي تحتوي على خزان احتياطي يمكن أن يدخل غاز ثاني أكسيد الكربون من الهواء الجوي.

ثالثا : غازات ناتجة من تحلل الزيت بالحرارة أثناء الأعطال

ينتج من تحلل الزيت بالحرارة بعض الغازات مثل غاز الهيدروجين H_2 وغاز الميثان CH_4 وغاز الإيثان C_2H_6 وغاز الإيثيلين C_2H_4 وغاز الأستيلين C_2H_2 وغاز البروبان C_3H_6 .

عندما ترتفع درجات الحرارة وتصل إلى ما بين 150درجة إلى 1000درجة مئوية يتحلل الزيت ويصاحبه قوس كهربي وينتج غاز الإيثان، أما إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى 3000 درجة مئوية ينتج غاز الإستيلين.

الطرق العامة لتفسير النتائج

1- قوس كهربي في الزيت بدون تحلل لأي مواد عازلة صلبة. والغازات الرئيسية في هذه الحالة تكون :

هيدروجين	60 – 80% من الحجم.
أستلين	10 – 25% من الحجم.
ميثان	1.5 – 3.5% من الحجم.
إثيلين	1 – 2% من الحجم.

2- قوس كهربي خلال المواد العازلة الصلبة :

الغازات الناتجة من حدوث قوس في الزيت مع جزء خلال مادة عازلة صلبة مثل الورق أو الورق المضغوط هي عبارة عن كمية كبيرة من غاز الهيدروجين والأستيلين مصحوباً بكمية كبيرة من أول أكسيد الكربون، نسبة الميثان أكبر منه في الحالة الأولى.

3- تفريغ جزئي في مادة السيليلوز وفي الزيت :

الغازات الرئيسية في هذه الحالة هي الهيدروجين، الميثان، أول أكسيد الكربون، بينما غاز الأسيتيلين لا يظهر.

4- تحليل حراري للزيت :

يحدث تحليل حراري عند درجة حرارة 400 درجة مئوية ويزيد بزيادة ارتفاع درجة الحرارة وشكل الغازات يكون جزيئات منخفضة هيدروكربونية أساسا، ميثان، إيثان، اسيتلين، هيدروجين عند درجة حرارة 600 درجة مئوية، الغازات المخلوطة تتكون من ميثان وهيدروجين. يوجد أيضا ثاني أكسيد الكربون ولكن تتحلل عند درجات الحرارة الأعلى.

5- تحلل حراري لمادة سليلوز وللزيت :

في هذه الحالة الغازات الأساسية عبارة عن ثاني أكسيد الكربون وأول أكسيد الكربون، بالإضافة إلى الهيدروجين عند درجات حرارة أعلى من 500 درجة مئوية .

الأسباب المحتملة لظهور الغازات في تحليل الزيت

Caused by سبب حدوثه	Type of gas نوع الغاز	
ageing التقادم	CO	أول أكسيد الكربون
	CO_2	ثاني أكسيد الكربون
Electric arcs القوس الكهربي	H_2	الهيدروجين
	C_2H_2	الأستيلين
الحرارة الناتجة عن التحميل الزائد Local overheating	C_2H_6	الإيثان
	C_2H_4	الإيثيلين
	C_3H_6	البروبان
Corona ظاهرة الكورونا	H_2	الهيدروجين
	CH_4	الميثان

المراجع

1- Electric Power Transformer Engineering

Edited by James H. Harlow

2- Handbook of Transformer design & Application - Second Edition

Edited by William M. Flanagan

3- The J & P Transformer Book - Twelfth Edition

Edited by Martin J. Heathcote, CEng , FIEE

4- Power Transformer principles and applications

Edited by John J. Winders, Jr.

5- Transformer Engineering Design and Practice

S.V. Kulkarni & S.V. Khaparde

6- Best Practice Manual transformer

Devki Energy Consultancy Pvt. Ltd.,

7- Distribution Transformer Handbook - Third Edition

Richard alexander

8- ANSI / IEEE Standards — Power Transformer Updates

H. Jin Sim

9- Electrical Machines 1

Prof. Krishna Vasudevan , Prof. G. Sridhara Rao, Prof. P. Sasidhara Rao

10- Regulation — Voltage

Prof. S R Paranjothi — October 16, 2008

11- Transformer Data sheet

Schneider Electric

12- Transformers

Prof. Dr. Rabah Y. amer

13- ABB Distribution Transformer Catalogue

14- APTA SS- E — 001- 98 Standard for insulation integrity

15- Principles & Applications of insulation testing with DC

By Eng / Mohammed Hanif ABB Electrical industries Co.Ltd

16- Atext book of Electrical Technology — in S.I. units — Volume II

B.L. Theraja & A.K. Theraja

17- Schneider electric protection guide 2003

18- Transformer Protection

Harkishan Jashnani

19- Transformer Protection - siemens

المراجع باللغة العربية

م	المرجع	المؤلف	تاريخ الإصدار
1	المحولات الكهربية – الجزء الأول	د/ كامليا يوسف محمد	
2	المرجع في محولات القوى الكهربية	أ.د/ محمود جيلاني	2010
3	المرجع في التركيبات والتصميمات الكهربية	أ.د/ محمود جيلاني	2013
4	محولات القوى الكهربية والاختبارات	م / فودة قاسم	
5	المحولات ثلاثية الوجه	المملكة العربية السعودية	